

Manual de diseño, operación y mantención de sistemas de captación de aguas lluvias.



AUTORES

L. Octavio Lagos Roa
PhD. Ingeniero Civil Agrícola
Departamento de recursos hídricos
COTH₂O
Universidad de Concepción

Andrés Pérez Barriga.
Mag. Ingeniero Civil Agrícola
Departamento de recursos hídricos
COTH₂O
Universidad de Concepción

José Contreras Urízar
Ingeniero Agrónomo
COTH₂O
Universidad de Concepción

Oscar Viveros Pino
Ingeniero Civil Agrícola
COTH₂O
Universidad de Concepción

Erick Ruiz Estrada
Ingeniero Civil Agrícola
COTH₂O
Universidad de Concepción

Lea Valenzuela López
Diseñadora Gráfica
Universidad de Concepción

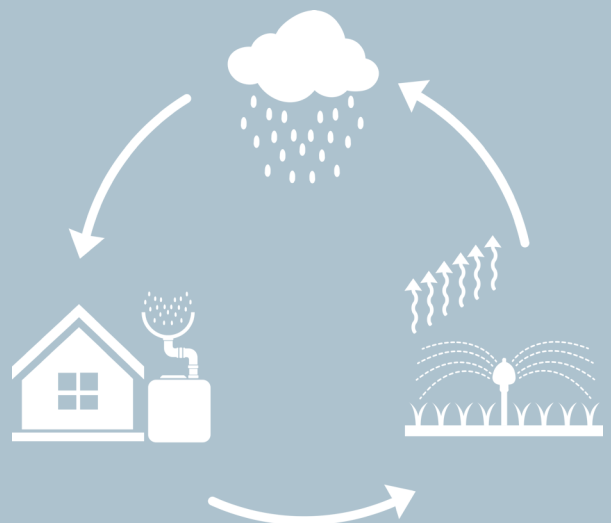
Supervisión del programa
Leonardo Machuca
Ingeniero Agrónomo
Comisión Nacional de Riego

Revisión
Gustavo Roa Figueroa
Ingeniero Agrónomo
Comisión Nacional de Riego

Revisión
Tamara García Quevedo
Ingeniero Civil
Comisión Nacional de Riego

Este manual ha sido elaborado en el marco del estudio "Diagnóstico, evaluación y seguimiento de sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias" de la Comisión Nacional de Riego, y tiene como propósito otorgar lineamientos de diseño para la aplicabilidad de estos sistemas en proyectos de pequeña agricultura.

La ejecución del programa y elaboración de este material ha sido desarrollada por el Consorcio Tecnológico del Agua (COTH₂O) y el Departamento Recursos Hídricos de la Universidad de Concepción.



Contenido

| | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. COMPONENTES | 6 |
| 2.1. Superficie de captación | 6 |
| 2.2. Recolección y conducción | 8 |
| 2.3. Filtros | 10 |
| 2.4. Sistemas de acumulación | 11 |
| 3. DISEÑO | 12 |
| 3.1. Precipitación de diseño | 12 |
| 3.2. Demanda de agua | 14 |
| 3.2.1. Consumo doméstico | 14 |
| 3.2.2. Bebida animal | 14 |
| 3.2.3. Riego | 15 |
| 3.2.4. Estimación del agua producida | 17 |
| 3.3. Ejemplo de diseño | 19 |
| 3.4. Dimensionamiento de canaletas y tuberías de conducción | 29 |
| 3.5. Recomendaciones de los fabricantes | 30 |
| 3.5.1. Recomendación según Vinilit | 30 |
| 3.5.2. Recomendación según Hoffens | 30 |
| 3.5.3. Recomendación según Tigre | 31 |
| 3.6. Selección de sistema de acumulación | 31 |
| 3.7. Cubicación de materiales | 32 |
| 3.8. Sistema de riego | 34 |
| 3.8.1. Selección del lateral y emisor | 34 |
| 3.8.2. Altura dinámica total | 35 |
| 3.9. Consideraciones del sistema de riego | 36 |
| 3.9.1. Cabezal de control y nodos de válvulas | 38 |
| 3.9.2. Filtros | 39 |
| 3.9.3. Fertirriego | 39 |
| 3.9.4. Nodos sectoriales | 40 |
| 3.9.5. Tablero de control | 41 |
| 3.9.6. Caseta de riego | 42 |
| 3.9.7. Uso de energías renovables no convencionales | 42 |
| 3.9.8. Kit de reparaciones | 42 |
| 4. ASPECTOS DE INSTALACIÓN | 43 |
| 4.1. Canaletas y redes de conducción | 43 |
| 4.2. Estanques verticales plásticos | 43 |
| 4.3. Estanques tipo australianos | 44 |
| 4.4. Acumuladores excavados en suelo y revestidos con geomembrana | 44 |
| 4.5. Cisternas flexibles | 45 |
| 4.6. Estanques autosoportantes | 46 |
| 4.7. Aspectos generales de instalación | 46 |
| 5. ERRORES MÁS FRECUENTES EN INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE SCALL | 48 |
| 5.1. Captación | 48 |
| 5.2. Conducción | 48 |
| 5.3. Acumulación | 48 |
| 5.4. Riego | 49 |
| 6. DISEÑO DE INVERNADEROS | 51 |
| 6.1. Tipo de invernaderos | 51 |
| 6.2. Consideraciones de diseño | 52 |
| 6.2.1. Material de construcción | 52 |
| 6.2.2. Selección del sitio | 52 |
| 6.2.3. Dimensiones | 53 |
| 6.2.4. Condiciones de temperatura y humedad relativa | 58 |
| 6.2.5. Ventilación | 58 |
| 7. CONSIDERACIONES POR REGIÓN | 59 |
| 8. LABORES DE MANTENIMIENTO | 60 |
| 8.1. Evacuación de primeras aguas | 60 |
| 8.2. Limpieza de sistemas | 60 |
| 8.2.1. Área de captación | 60 |
| 8.2.2. Líneas de conducción | 60 |
| 8.2.3. Sistemas de acumulación | 60 |
| 8.2.4. Sistema de riego | 60 |
| 8.3. Mantenimiento de filtros | 61 |
| 9. PREGUNTAS FRECUENTES | 62 |
| 10. REFERENCIAS | 64 |

En la actualidad, casi el 47% de la población mundial vive en áreas que se ven afectadas por la escasez de agua al menos un mes al año. Para 2050, alrededor de seis mil millones de personas sufrirán escasez de agua limpia (WWAP, 2020). Debido al cambio climático, el ciclo hidrológico se ve notablemente afectado por una mayor frecuencia y severidad de inundaciones y sequías. La calidad del agua también se ve afectada negativamente en muchos lugares debido al aumento de la salinidad provocado por el aumento del nivel del mar y la congestión del drenaje. Para hacer frente a la creciente demanda de agua, las autoridades del agua han estado buscando fuentes alternativas de agua dulce; entre estas fuentes, el agua de lluvia está recibiendo una atención significativa.

La recolección de agua de lluvia puede ayudar a gestionar el ciclo del agua tanto en áreas urbanas como rurales al ofrecer una gama de soluciones sostenibles. El agua de lluvia recolectada se puede usar para regar los cultivos en los huertos familiares, lo que puede mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición (Amos et al 2020, Barker-Reid et al 2010, Paul J, et al 2015).

Chile, un país conocido por su diversidad geográfica y climática, enfrenta desafíos constantes en el acceso y la gestión del agua, especialmente en regiones donde la disponibilidad hídrica es limitada. En este contexto, los sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL) emergen como una alternativa cada vez más relevante para mitigar la escasez hídrica y promover la sostenibilidad ambiental. Estos sistemas, que aprovechan la precipitación como fuente de abastecimiento, han cobrado importancia en la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para satisfacer las necesidades hídricas de comunidades y sectores productivos en todo el país.

Por ello, este manual proporciona una guía práctica de criterios para el diseño de SCALL asociados a sistemas de riego y/o invernaderos para proyectistas y revisores de proyectos. Se abordan temas como los diferentes tipos de sistemas de SCALL, sus componentes, ventajas y desventajas y metodologías de diseño para los SCALL sus sistemas de riego asociados e invernaderos.

La Figura 1 muestra las 9 principales componentes de un SCALL.

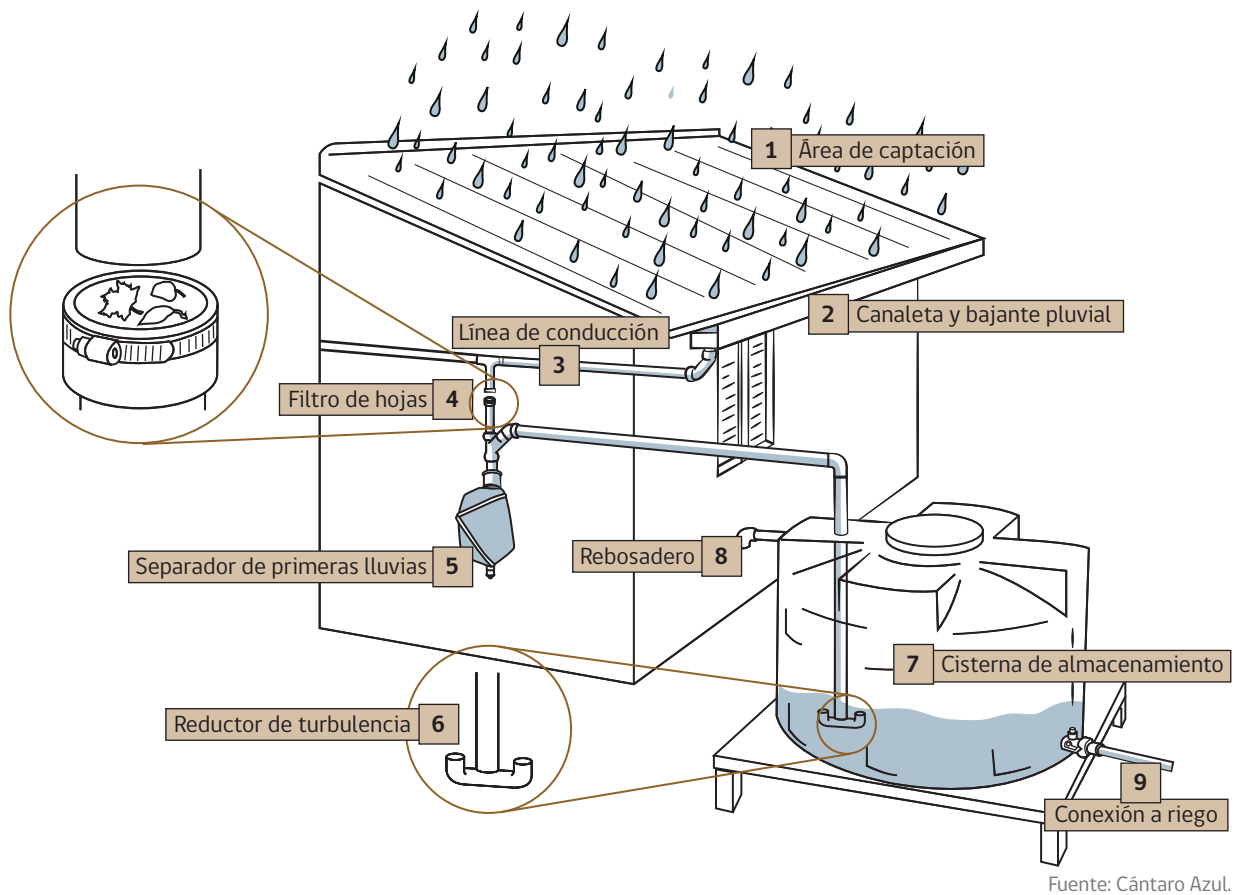


Figura 1. Diagrama de componentes de un SCALL.

2.1. Superficie de captación

Las superficies de captación que se asocian a los SCALL pueden ser:

1. Techumbres de casas o invernaderos (Figura 2a y b)
2. Captaciones en ladera (Figura 2c)
3. Drenes (Figura 2d)

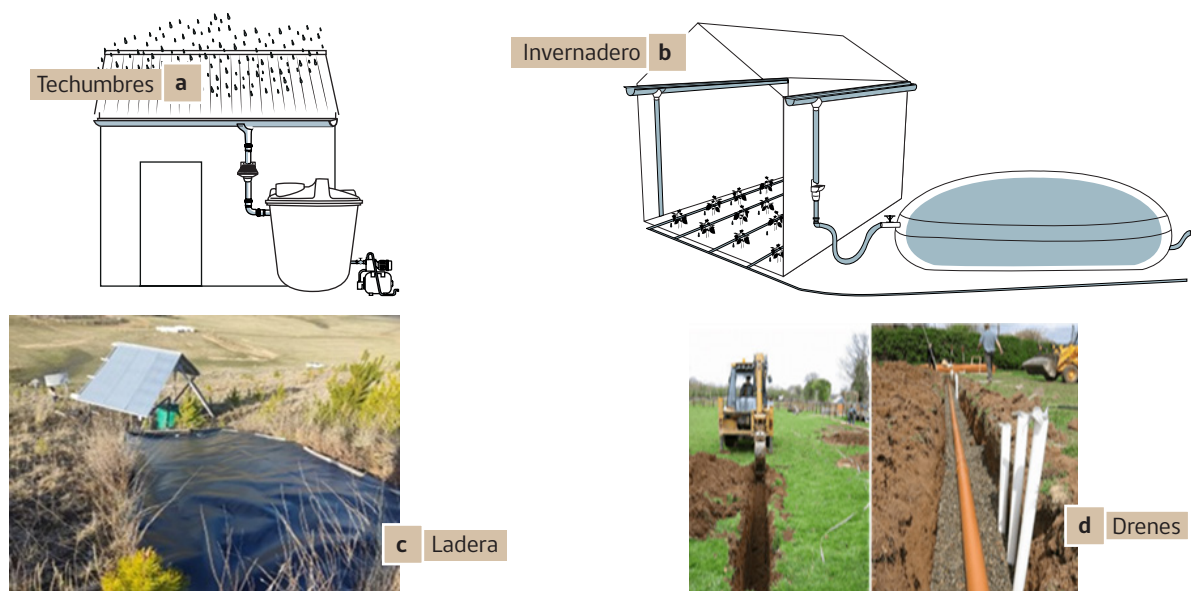


Figura 2. Tipos de superficies de captación de aguas lluvias.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo que detalla los diversos tipos de superficies de captación, junto con sus ventajas y desventajas. Este recurso está diseñado para orientar al diseñador al momento de elegir la superficie de captación más adecuada para su proyecto.

Tabla 1. Análisis comparativo de los diferentes sistemas de captación de aguas lluvias.

| Tipo de captación | Uso | Ventaja | Desventaja |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Techumbre | Captación de aguas lluvias desde casas y/o bodegas usualmente utilizado para uso doméstico, consumo animal y riego. | Se puede aprovechar los techos de casas y /o bodegas con el fin de abaratar la inversión inicial. | Si no existe una estructura previamente construida, se deben destinar recursos a su construcción. Si existe se deben considerar reparaciones según el estado del techo. |
| Invernadero | Usualmente para riego de la superficie cultivada en el mismo invernadero. | En invernaderos de policarbonato la superficie captante ofrece una vida útil de a lo menos 10 años. | Si la superficie captante es de polietileno, precisa un recambio cada 2 o 3 años. Lo que significa un costo de mantención para el agricultor. |
| Ladera | Con el fin de aprovechar la topografía natural del terreno, se revisten estas laderas utilizando geomembranas u otro material impermeable. | No precisa mayor movimiento de tierra, ya que se aprovecha la topografía del lugar. | Al ser la superficie captante una extensión de terreno revestida, está más propensa a contaminantes. |
| Drenes | Los sistemas de acumulación de agua lluvia mediante drenes recogen y direccionan el agua proveniente de la lluvia absorbida por el suelo hasta un área destinada para su acumulación. | Según la topografía y la dirección del flujo de agua en el suelo, se pueden drenar mayores superficies. | Se debe considerar textura de suelo, topografía y costos de movimiento de tierra y conducción del agua hasta el acumulador. |

*El uso doméstico del agua de lluvia se refiere a su aprovechamiento para diversas aplicaciones dentro del hogar, tanto para aguas grises, como el uso en la lavadora, como para aguas negras, como el uso en el WC.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Recolección y conducción

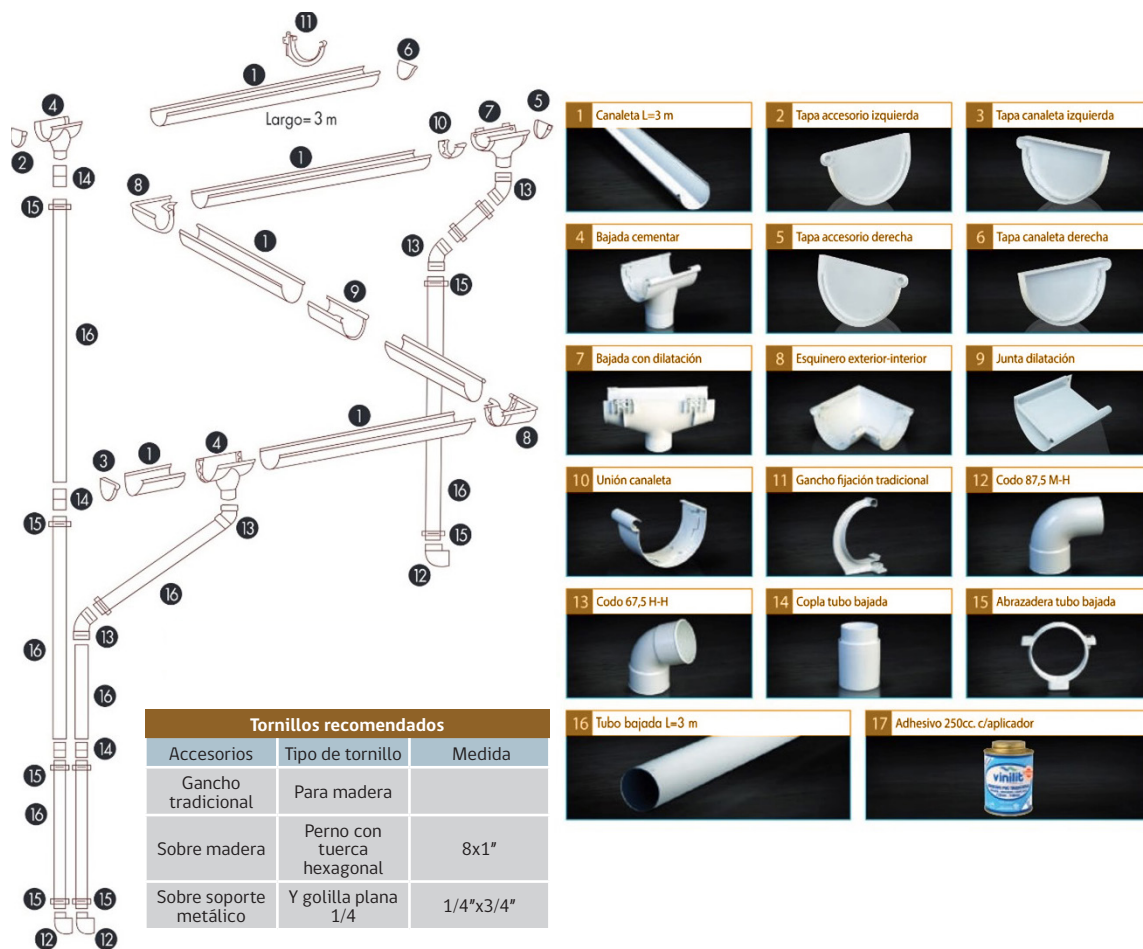
En cuanto a la materialidad y selección del tipo de canaleta a utilizar, los sistemas más frecuentemente utilizados corresponden a canaletas de PVC, seguidas de hojalata. La Tabla 2 muestra un análisis comparativo sobre las ventajas y desventajas de estos sistemas al momento de seleccionar.

Tabla 2. Comparativo entre canaletas de hojalata y PVC.

| Tipo | Ventajas | Desventajas |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| PVC | No se oxidan ni se corroen, son más económicas, vienen en perfiles estándar y es más fácil encontrar proveedores. | Expuesto a temperaturas altas, se tornan quebradizos y desarrollan grietas. |
| Hojalata | Mayor vida útil, resisten mayores cargas y no se deteriora con el sol. | De mayor costo en relación con las canaletas de PVC, además se deben fabricar a medida. |

Fuente: Elaboración propia.

Entre estos dos tipos de canaletas, usualmente debido a su disponibilidad de mercado, facilidad de transporte e instalación, se prefiere utilizar canaletas de PVC. La Figura 3 muestra un ejemplo de despiece de un sistema de canaletas y bajada de aguas lluvia en PVC. Además, se muestran algunas recomendaciones de instalación.



Fuente: Adaptado desde catálogo de Vinilit (www.vinilit.cl).

Figura 3. Despiece de sistema de recolección y conducción en canaletas de PVC.

Por otra parte, es posible emplear canaletas fabricadas en hojalatería como la que se muestra en la Figura 4, sin embargo, al dimensionarlas, es crucial verificar su capacidad de evacuación de las aguas. Se debe conocer la tormenta de diseño (intensidad máxima de lluvia) de la zona donde se requiere realizar el diseño y en combinación con el área de la superficie captadora se puede determinar el caudal y confirmar la capacidad máxima de transporte de agua en la canaleta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Sistema de canaleta fabricada en hojalata para SCALL.

En cuanto a las tuberías de bajada de agua, existen tres tipos comúnmente utilizados, que se diferencian principalmente en su costo de adquisición. La Tabla 3 muestra una comparación porcentual de costos, donde la opción más costosa es el PVC hidráulico. Esta diferencia de precio se atribuye a su capacidad para soportar presión, la cual no es necesaria en el caso de los SCALL, ya que no son sistemas presurizados. Por otro lado, la tubería sanitaria se muestra como un 38% más económica que el PVC de bajada de aguas lluvia. Su única desventaja radica en aspectos estéticos, especialmente si se instala en viviendas. Por lo tanto, se sugiere emplear PVC sanitario en instalaciones como bodegas, galpones o estructuras de captación exclusivamente construidas para este fin, mientras que para viviendas se recomienda el PVC de bajadas de agua lluvia para minimizar el impacto en el diseño exterior.

Tabla 3. Comparación porcentual de costos de tuberías de bajada.

| Tubería de bajada de aguas lluvia. | Tubería sanitaria. | Tubería hidráulica. |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Patrón de comparación. | 38 % más barato que la tubería de bajadas de agua lluvia. | 44% más costoso que la tubería de bajadas de agua lluvia. |

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Filtros

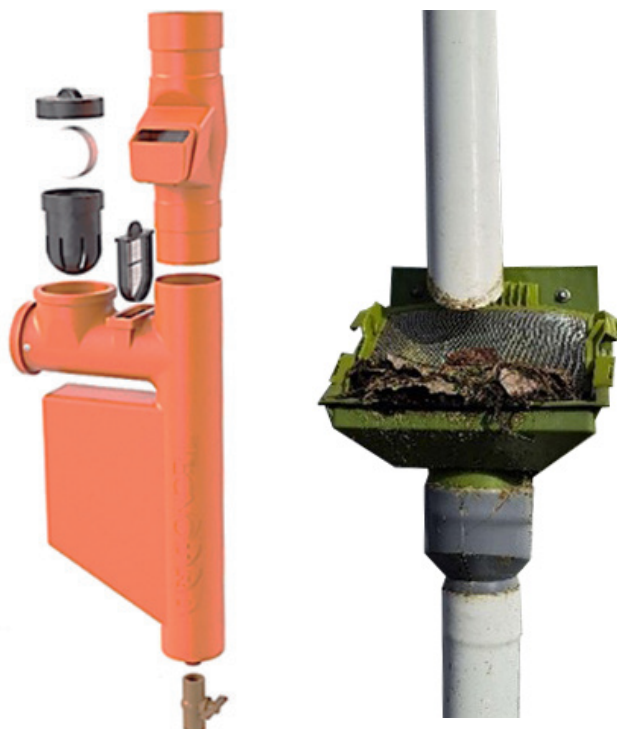
Los filtros desempeñan un papel fundamental en los sistemas de acumulación de aguas lluvia en lo que respecta a la calidad del agua. Su función principal es evitar la entrada de elementos que puedan obstruir las tuberías y contaminar el agua almacenada. La Figura 5 muestra distintos tipos de filtros aplicables a SCALLs.



Malla para canaleta



Sistema de desvío de primeras aguas



Filtro de hojas SMART FILTRO

Filtro de malla de bajante



Sistema desvío de primeras aguas



Filtro de tapa estanque

Figura 5. Sistemas de filtrado comunes.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Sistemas de acumulación

La elección del acumulador dependerá de las condiciones de diseño y de las características del terreno donde se llevará a cabo la instalación. En la Figura 6 se muestran los distintos tipos de sistemas de acumulación más comúnmente utilizados en sistemas SCALL, y en la sección 3.5 se indican criterios para la selección del acumulador.



Cisternas flexibles



Estanque vertical



Estanque australiano



Estanque



Estanque autosoportante

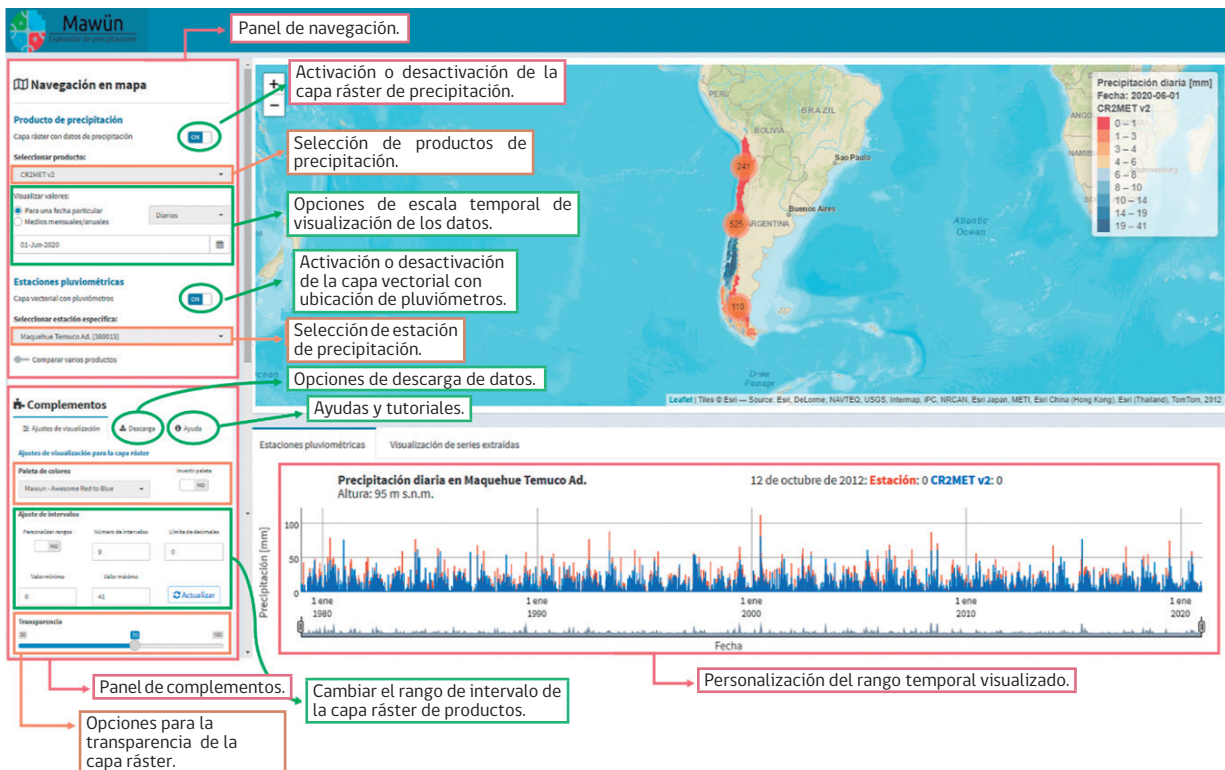
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Tipos de sistemas de acumulación más frecuentes en SCALLs.

3.1. Precipitación de diseño

Para determinar la precipitación de diseño, se requiere de una serie de información histórica, a la cual se le debe realizar un análisis de frecuencia. Para el cálculo de la precipitación de diseño se requiere un análisis estadístico con el fin de determinar probabilidad de excedencia de un evento de precipitaciones con un 85% de seguridad. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo utilizando la distribución de Weibull que es la que mejor se ajustó. Para realizar los ajustes estadísticos, se tiene que, se pueden comparar varias metodologías de calculo ocupando como referencia Weibull. En este sentido, el punto 3.1 de los instructivos técnicos de obras civiles para concursos de la ley 18.450 de CNR (res CNR. N° 5868/exenta 28 nov 2019), indica que se puede utilizar las siguientes distribuciones: Normal, log-normal, Gumbel o Weibull. Por tanto, se expresa en el manual lo requerido, indicando que se debe utilizar la función que presente un mejor ajuste a los datos

Para este propósito, es necesario contar con una base de datos histórica que permita calcular la probabilidad de excedencia al 85%. Esta información se debe obtener de alguna estación meteorológica cercana y representativa del sector de análisis (estaciones DGA, Agromet, Agroclima, DMC, entre otras). Para este ejemplo, se utilizaron datos provenientes del explorador de precipitaciones Mawün (<https://mawun.cr2.cl/>) del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (Figura 7). Se recomienda seleccionar el mayor rango de fechas posible en la fuente de datos para obtener una muestra más representativa. Dependiendo de la disponibilidad de datos, se sugiere elegir un período de al menos 20 años de precipitaciones mensuales.



Fuente: CR2.

Figura 7. Funciones de la interfaz del explorador de precipitaciones, en ella se detallan las opciones de descarga de datos.

Una vez obtenidos los datos de precipitaciones mensuales, se procede a realizar el análisis estadístico. Para ello, se define la siguiente expresión de probabilidad estadística:

$$F_n (X) = \frac{n}{(N+1)} \quad [1]$$

Donde:

$F_n (X)$: frecuencia observada acumulada.

n : número de orden ascendente de la serie de datos.

N : número total de datos.

Para obtener la probabilidad utilizando una hoja de cálculo de Excel, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Se deben separar los datos de precipitación diaria en función de cada mes del año y se ordenan de forma decreciente.
2. Luego, se aplica la ecuación [1] respectivamente y se selecciona la precipitación correspondiente a la probabilidad de excedencia del 85%.

A modo de ejemplo, se presenta el análisis realizado utilizando datos de la estación Lago Ranco, Código de estación C10307001. Se analizó un periodo desde enero de 1979 hasta diciembre de 2020, obteniendo así la probabilidad de excedencia de Weibull al 85% mediante un análisis estadístico de 41 años.

A continuación, se muestran los resultados de las variables necesarias para el cálculo, a las que hacen referencia el punto 1, 2 y 3 para la estación de Lago Ranco, se muestran los resultados de la precipitación de Weibull calculadas con una probabilidad de excedencia del 85% y se observa en la Tabla 4, que para el mes de agosto la precipitación corresponde a 208 mm mensuales.

Tabla 4. Ejemplo de cálculo de probabilidad de precipitación de Weibull al 85% de excedencia para el mes de agosto.

| PP (mm/mes) | F(x) Weibull |
|-------------|--------------|
| 219 | 0,74 |
| 215 | 0,77 |
| 213 | 0,79 |
| 212 | 0,81 |
| ... | ... |
| 210 | 0,85 |
| ... | ... |
| 208 | 0,86 |
| 193 | 0,88 |
| 182 | 0,91 |
| 179 | 0,93 |

Fuente: Elaboración propia.

Con este valor de probabilidad de excedencia se asegura que en el 85% de los eventos se obtendrán precipitaciones mayores o iguales a 210 mm.

En la Tabla 5 se presenta los resultados del cálculo de la probabilidad de excedencia de las precipitaciones de diseño para cada mes del año en la zona de Lago Ranco.

Tabla 5. Precipitación con 85% de excedencia en función de los meses del año, utilizando la distribución de Weibull.

| Mes | PP (mm/mes) |
|--------------|--------------|
| Enero | 41 |
| Febrero | 32 |
| Marzo | 78 |
| Abril | 119 |
| Mayo | 137 |
| Junio | 217 |
| Julio | 205 |
| Agosto | 210 |
| Septiembre | 107 |
| Octubre | 87 |
| Noviembre | 77 |
| Diciembre | 46 |
| Total | 1.356 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Demanda de agua

3.2.1. CONSUMO DOMÉSTICO

Para calcular los volúmenes de diseño en un SCALL de uso doméstico, es necesario tener en cuenta el consumo de agua per cápita. Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en 2022, este consumo es de 68 litros por habitante por día. Con este dato y conociendo el número de personas a las que se va a abastecer, se puede obtener el volumen de consumo doméstico (V_{cd}).

$$V_{cd} = n \cdot 68 \frac{1}{\text{hab} \cdot \text{día}} \quad [2]$$

Siendo:

n : número de habitantes para el cual desea diseñar.

Este volumen de 68 litros diarios no considera agua para bebida, ducha, lavado de dientes ya que no es recomendable utilizar agua acumulada en SCALL para las actividades anteriormente mencionadas.

3.2.2. BEBIDA ANIMAL

Para estimar el consumo de agua animal, se tienen valores promedio del consumo de agua según la especie, según lo mostrado en la Tabla 6.

Tabla 6. Consumo de agua en función del tipo de animal en promedio y en condiciones de altas temperaturas.

| Especie | Consumo promedio (L/día) |
|-----------------|--------------------------|
| Gallinas | 0,22 |
| Cerdo | 26 |
| Caballo | 25 |
| Bovino de carne | 35 |
| Ovejas | 9 |
| Cabras | 3 |
| Patos | 1,6 |
| Pavos | 0,5 |
| Ganso | 0,4 |

Fuente: www.cambridge.org/.

Entonces el consumo animal (C_A) está definido por:

$$C_A = C_{animal} \cdot n \quad [3]$$

Siendo:

C_{animal} : consumo del tipo de animal.

n : número de animales de dicho tipo.

3.2.3. RIEGO

Para el cálculo de la demanda de riego, se debe conocer la evapotranspiración de cultivo, la que se describe mediante la siguiente expresión:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad [4]$$

Donde:

ET_o : evapotranspiración de referencia (mm-día⁻¹).

K_c : coeficiente de cultivo (adimensional).

Al igual que se determinó la precipitación de diseño, utilizando la distribución de Weibull, se puede determinar la ET_o a través de un análisis de datos históricos. Sin embargo, para efectos de diseño de proyectos de la Ley 18.450, se sugiere el uso del mapa de evapotranspiración de la CNR que encuentra en el Sistema de Información Integral de riego (ESIIR). A continuación, se muestra una serie de pasos para obtener la ET_o desde dicha plataforma.

1. Ingresar a ESIIR (<https://esiir.cnr.gob.cl/>) (Figura 8).
2. Localizar el punto donde se emplazará el proyecto.
3. Seleccionar la opción cálculo de evapotranspiración y se desplegarán los resultados de la evapotranspiración mensual.

26/10/23, 11:33

Sistema de Información Integral de Riego - ESIIR

Intersección

| Clasificación | Promedio | | | | | | | | | | | | | Mayor ET_o | 2do mayor ET_o | 3er mayor ET_o | Valor medio diario | Longitud | Latitud |
|--------------------|----------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|--------------|------------------|------------------|--------------------|----------|---------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Anual | | | | | | |
| Evapotranspiración | 120,9 | 98,0 | 83,7 | 57,0 | 37,2 | 30,0 | 31,0 | 37,2 | 51,0 | 77,5 | 96,0 | 117,8 | 837,3 | 120,9 | 117,8 | 83,7 | 2,3 | 714257 | 5532920 |

Coordenadas del Punto de Intersección

Esta sección permite reingresar las coordenadas y/o el radio de búsqueda y reinterseccionar

| Proyección | Longitud (X) | Latitud (Y) | Radio (Km) | |
|---------------------|--------------|--------------|------------|------------------|
| UTM H 18 - WGS 1984 | 761096,0000 | 5946081,0000 | 1 | Reinterseccionar |
| Limpiar | Ver Listado | Descargar | Imprimir | Cerrar |

Fuente: CNR.

Figura 8. Resultados de evapotranspiración de referencia (ET_o) en la interfaz del mapa (ESIIR).

Para la estimación de evapotranspiración dentro de los invernaderos, se consultaron varios estudios, los cuales han encontrado una relación de la evapotranspiración de referencia dentro y fuera del invernadero, como un 70% de la ET_o . Al considerar estos antecedentes se utilizará la siguiente relación:

$$ET_{inv}=0,7 \cdot ET_o \quad [5]$$

a. Coeficiente de cultivo

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único (K_c) incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo. Las tablas 7 y 8 muestran los coeficientes de cultivo comúnmente utilizados.

Tabla 7. Rangos de valores de K_c .

| Cultivo | Valor mínimo | Valor máximo | Cultivo | Valor mínimo | Valor máximo |
|-----------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| Alfalfa | 0,85 | 1,00 | Manzano | 1,05 | 1,25 |
| Almendro | 0,95 | 1,05 | Naranja | 0,65 | 0,90 |
| Arándano | 0,60 | 1,00 | Nogal | 0,90 | 1,10 |
| Arroz | 1,05 | 1,15 | Olivo para mesa | 0,50 | 0,80 |
| Avellano europeo | 0,70 | 0,80 | Olivo para aceite | 0,40 | 0,80 |
| Cerezo | 1,00 | 1,25 | Palto | 0,75 | 0,85 |
| Ciruelo | 0,90 | 1,15 | Papas | 1,00 | 1,10 |
| Damasco | 0,80 | 1,15 | Peral | 1,00 | 1,15 |
| Duraznero y nectarino | 1,00 | 1,15 | Pistacho | 1,10 | 1,30 |
| Espárragos | 1,00 | 1,10 | Pradera | 0,90 | 1,05 |
| Frambuesa | 0,70 | 0,80 | Remolacha | 1,00 | 1,10 |
| Granado | 0,80 | 0,95 | Tabaco | 0,95 | 1,10 |
| Kiwi | 1,10 | 1,20 | Tomate | 1,00 | 1,10 |
| Limonero | 0,60 | 0,80 | Tuna | 0,25 | 0,350 |
| Maíz | 1,00 | 1,10 | Vides viníferas | 0,50 | 0,60 |
| | | | Vid de mesa | 1,00 | 1,30 |

Fuente: DT-05 CNR.

Tabla 8. Valores complementarios de K_c para hortalizas.

| Cultivo | Valor mínimo | Valor máximo |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|
| Arveja verde | 1,15 | 1,20 |
| Pimentón | 0,95 | 1,10 |
| Cebolla guarda | 0,95 | 1,10 |
| Cebolla verde | 0,95 | 1,10 |
| Tomates | 1,10 | 1,25 |
| Sandía | 0,95 | 1,05 |
| Melón | 0,95 | 1,05 |
| Zapallo | 0,95 | 1,05 |
| Hortalizas de arraigamiento superficial | 0,90 | 1,10 |

Fuente: Universidad de Concepción.

b. Estimación de precipitación efectiva

La precipitación efectiva se define como la lluvia que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía, interceptación vegetal o por percolación profunda y permanece a disposición del sistema radicular del cultivo. Es necesario conocer la precipitación efectiva cuando tenemos cultivos al aire libre. De acuerdo con el USDA la precipitación efectiva puede ser calculada mensualmente mediante la siguiente expresión:

$$P_e = f(1,253P^{0,824} - 2,935) \cdot 10^{0,001 ET_o} \quad [6]$$

Donde:

P_e : precipitación efectiva mensual (mm·mes⁻¹).

P : precipitación mensual (mm·mes⁻¹).

ET_o : evapotranspiración de referencia mensual (mm·mes⁻¹).

f : factor de corrección que depende de la altura de precipitación.

$$f = 0,133 + 0,201 \ln(Da) \quad \text{para } (Da) < 75 \text{ mm} \quad [7]$$

$$f = 0,946 + 7,3 \cdot 10^{-4} (Da) \quad \text{para } (Da) \geq 75 \text{ mm} \quad [8]$$

Para realizar el balance hídrico es necesario conocer la cantidad que aportan las lluvias en los terrenos que están al aire libre en cada mes, estimando la precipitación efectiva, con su respectivo factor de corrección, en donde Da es la humedad aprovechable del suelo (mm):

$$Da = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot \Delta Z \quad [9]$$

Donde:

θ_{CC} : contenido de humedad volumétrico a capacidad de campo (m³·m⁻³).

θ_{PMP} : contenido de humedad volumétrico a punto de marchitez permanente (m³·m⁻³).

ΔZ : profundidad efectiva (mm).

c. Demanda de cultivo

Corresponde a la evapotranspiración de cultivo (ET_c) considerando la eficiencia del método de riego a utilizar y generalmente es conocido como demanda bruta (DB).

$$Demanda\ bruta = \frac{ET_c}{ef_a} \quad [10]$$

Donde la ef_a es la eficiencia de aplicación del método de riego.

Los sistemas SCALL generalmente se deben asociar a sistemas de riego tecnificado, específicamente microriego, el cual alcanza una eficiencia de un 90%.

3.2.4. ESTIMACIÓN DEL AGUA PRODUCIDA

Se puede obtener el volumen en litros de aguas producidas por la superficie de captación (V_c), como se muestra a continuación.

$$V_c = A_{cap} \cdot P \cdot C \quad [11]$$

Donde:

A_{cap} : área de captación del sistema de acumulación de aguas lluvia (m²).

P : precipitación mensual (mm·mes⁻¹).

C : coeficiente de escorrentía (adimensional).

El coeficiente de escorrentía se puede obtener de la Tabla 9, para diferentes superficies, siendo comúnmente utilizado para techos en proyectos SCALL el valor 0,85.

Tabla 9. Coeficientes típicos de escorrentía.

| Tipo de superficie | Coefficiente de escorrentía |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Pavimentos de hormigón y bituminosos. | 0,7 a 0,95 |
| Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros. | 0,8 a 0,9 |
| Pavimentos de macadam. | 0,25 a 0,60 |
| Adoquinados. | 0,5 a 0,7 |
| Superficie de grava. | 0,15 a 0,30 |
| Zonas arboladas y bosque. | 0,10 a 0,20 |
| Zonas con vegetación densa: | |
| Terrenos granulares. | 0,05 a 0,35 |
| Terrenos arcillosos. | 0,15 a 0,50 |
| Zonas con vegetación media: | |
| Terrenos granulares. | 0,10 a 0,50 |
| Terrenos arcillosos. | 0,30 a 0,75 |
| Tierra sin vegetación. | 0,20 a 0,80 |
| Zonas cultivadas. | 0,20 a 0,40 |

Fuente: Salinas, A.

Volumen aportado al suelo

El volumen aportado por las precipitaciones al suelo puede ser representado por la siguiente expresión:

$$V_{aps} = P_e \cdot A_{AL} \quad [12]$$

Donde:

P_e : precipitación efectiva mensual (mm·mes⁻¹).

A_{AL} : área de cultivo al aire libre (m²)

Para el balance de la demanda se deben considerar las demandas de los cultivos tanto al aire libre como los que se encuentran al interior del invernadero, en base a lo anterior se tiene que:

$$D_T = (D_{AL} - P_e) + D_{inv} + V_{cd} + C_A \quad [13]$$

Donde:

D_T : demanda bruta de cultivos (litros).

D_{AL} : demanda bruta de cultivos al aire libre (litros).

D_{INV} : demanda de bruta cultivos en invernadero (litros).

V_{cd} : consumo doméstico (litros).

C_A : consumo animal (litros).

El Balance total (B_T) del sistema en un período de tiempo se representa mediante la siguiente expresión:

$$B_T = V_i + V_c - D_T \quad [14]$$

Donde:

V_i : volumen inicial (litros).

V_c : volumen colectado (litros).

D_T : demanda bruta de cultivos (litros).

3.3. Ejemplo de diseño

A continuación, se presentan dos ejemplos de cálculo que utilizan la planilla anexa al manual, junto con las instrucciones del “paso a paso” para su uso.

Ejemplo 1: Demanda de riego para cultivos al aire libre e invernadero

Para realizar el dimensionamiento de un SCALL, se debe conocer la información de entrada del proyecto. En la Tabla 10 se muestran los datos específicos para este ejemplo.

Tabla 10. Datos de entrada para el dimensionamiento del SCALL.

| Datos | Unidad | Valor |
|-------------------------------------|-------------------|------------|
| Superficie captante | m ² | 100 |
| Coefficiente de escorrentía | - | 0,85 |
| Capacidad de campo (CC) | % gravimétrico | 20 |
| Punto de marchitez permanente (PMP) | % gravimétrico | 8 |
| Densidad aparente del suelo (Dap) | g/cm ³ | 1,3 |
| Profundidad del suelo | cm | 40 |
| Superficie de riego en invernadero | m ² | 100 |
| Superficie de riego al aire libre | m ² | 50 |
| Método de riego | - | Microriego |
| Nº de personas | per | 0 |
| Animales por especie | Un | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11 se muestran datos de entrada para este ejemplo, pero que requieren un poco más de trabajo obtenerlas. La evapotranspiración de referencia (ET_0) se obtiene del mapa de evapotranspiración ESIIR, la precipitación con un 85% de probabilidad de excedencia (P_p) se obtiene con el método de Weibull, los coeficientes de cultivo tanto en invernadero como al aire libre se determinan según el cultivo y los meses de crecimiento de ésta, que son establecidos en base a la planificación del agricultor.

Tabla 11. Datos de entrada ambientales (ET_0 y P_p) y de cultivo.

| Paso | 9 | 10 | 11 | | 12 | |
|------------|--------|-------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Meses | ET_0 | P_p | K_C al aire libre año 1 | K_C invernadero año 1 | K_C al aire libre año 2 | K_C invernadero año 2 |
| Abril | 57,0 | 119 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Mayo | 37,2 | 137 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Junio | 30,0 | 217 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Julio | 31,0 | 205 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Agosto | 37,2 | 208 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Septiembre | 51,0 | 107 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Octubre | 77,5 | 87 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Noviembre | 96,0 | 77 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Diciembre | 117,8 | 46 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Enero | 120,9 | 40 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Febrero | 98,0 | 32 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Marzo | 83,7 | 78 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Instrucciones

Para completar estas instrucciones se utilizan los valores mostrados en la Tabla 10. Para hacer uso de la planilla anexa a este manual se debe seguir la definición de celdas mostrada en la Figura 9.

| Datos de entrada |
|------------------|
| Celda a ingresar |
| Celda resultado |
| Número de paso |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Definición de celdas de la planilla anexa al manual.

Paso 1: Ingrese la suma de las superficies en m² que se utilizarán para captar agua de lluvia (casa, bodega, etc., o un techo construido exclusivamente para la captación). Esta superficie debe ser la proyección del área de captación sobre una superficie horizontal.

Paso 2: Ingrese el coeficiente de escorrentía, dependiendo del material de la superficie captante.

Paso 3: Ingrese los parámetros físico hídricos del suelo: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo (CC, PMP y Dap).

Paso 4: Ingrese la superficie de riego en invernadero en m².

Paso 5: Ingrese la superficie de riego al aire libre en m².

Paso 6: Ingrese el método de riego tecnificado a utilizar.

Paso 7: Ingrese la cantidad de personas consideradas para el consumo doméstico. El uso doméstico del agua de lluvia se refiere a todo aprovechamiento en el hogar, excepto el consumo humano.

Paso 8: Ingrese la cantidad de animales a abastecer según la especie.

La Tabla 12 muestra las celdas con los valores ingresados desde el paso 1 hasta el paso 8.

Tabla 12. Datos de entrada ingresados en la planilla desde el paso 1 al 8.

| Paso | Variable | Valor |
|------|--------------------------------------------------------|------------|
| 1 | Superficie captante (m ²) | 100 |
| 2 | Coeficiente de escorrentía para precipitación efectiva | 0,85 |
| 3 | Capacidad de campo (% gravimétrico) | 20 |
| | Punto de marchitez permanente (% gravimétrico) | 8 |
| | Densidad aparente (g/cm ³) | 1,3 |
| | Profundidad de suelo (cm) | 40 |
| | Humedad aprovechable del suelo (mm) | 62,4 |
| 4 | Superficie de riego en invernadero (m ²) | 100 |
| 5 | Superficie de riego al aire libre (m ²) | 50 |
| 6 | Método de riego | Microriego |
| | Eficiencia de aplicación | 90% |
| 7 | Nº de personas | 0 |
| | Total consumo doméstico (L/día) | 0 |
| | Total consumo doméstico (L/día) | 0 |

| Paso | Especie | Cantidad |
|------|-----------------|-------------------------------------|
| 8 | Gallinas | 0 |
| | Cerdo | 0 |
| | Caballo | 0 |
| | Bovino de carne | 0 |
| | Ovejas | 0 |
| | Cabras | 0 |
| | Patos | 0 |
| | Pavos | 0 |
| | Ganso | 0 |
| | | Total consumo animal (L/día) |

Para ingresar las variables agroclimáticas y de cultivo se deben seguir las siguientes instrucciones:

Paso 9: Haciendo uso del mapa de evapotranspiración de ESIR, ingrese la evapotranspiración de referencia mensual (ET_0) <https://esir.cnr.gob.cl/>

Paso 10: Ingrese la precipitación calculada con el método de Weibull con un 85% de excedencia (P_p).

Paso 11: Ingrese el coeficiente de cultivo (K_c) tanto para la superficie a regar al aire libre como en invernadero según el mes y el año. Los meses en los que no hay cultivo ingresar el valor "0".

La Tabla 13 muestra los valores de inicio de la Tabla 11 ingresados en la planilla de cálculo anexa en el presente manual.

Tabla 13. Valores de evapotranspiración de referencia (ET_0), precipitación al 85% de excedencia (P_p) y los coeficientes de cultivo al aire libre y en invernadero (K_c).

| Paso | 9 | 10 | 11 | | 12 | |
|------------|----------|----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Meses | ET_0 | P_p | K_c al aire libre año 1 | K_c invernadero año 1 | K_c al aire libre año 2 | K_c invernadero año 2 |
| | (mm/mes) | (mm/mes) | - | - | - | - |
| Abril | 57,0 | 119,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Mayo | 37,2 | 137,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Junio | 30,0 | 217,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Julio | 31,0 | 205,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Agosto | 37,2 | 210,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Septiembre | 51,0 | 107,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Octubre | 77,5 | 87,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Noviembre | 96,0 | 77,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Diciembre | 117,8 | 46,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Enero | 120,9 | 41,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Febrero | 98,0 | 32,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Marzo | 83,7 | 78,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de inicio ingresados, se procede al paso número 12.

Paso 12: Ingrese el primer valor de iteración del acumulador. Este valor es tentativo y es el primero de la iteración, por lo que no necesariamente va a ser el adecuado para el balance. Luego presionamos el botón de "Calcular".

La Figura 10 muestra el ingreso del volumen tentativo del acumulador y los botones de "Calcular" y "Limpiar" los resultados del balance hídrico.

| | | | |
|---------------------------|---------|----------|---------|
| Paso | 12 - 13 | | |
| Iterar volumen acumulador | | Calcular | Limpiar |
| Volumen acumulador (L) | 60.000 | | |
| Alerta de rebalse | | | |
| No existe rebalse | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Ingreso del volumen tentativo del acumulador.

En la Tabla 14 se muestran los resultados del balance hídrico y se puede observar que existe un rebalse del acumulado que se ingresó, cuya capacidad es de 60.000 L y que se ve superada en el mes de agosto a octubre del año 1 y de junio a octubre. Bajo estas condiciones, el SCALL tiene capacidad de operar todo el año.

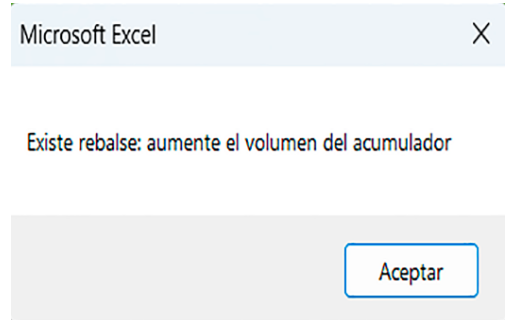
Tabla 14. Resultados del balance hídrico para el año 1.

| | | Resultados de balance hídrico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|------------|-------------------------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|
| | | Año 1 | | | | | | Año 2 y años siguientes | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unidad | Días | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo |
| Precipitación efectiva | mm/mes | 1190 | 1370 | 2170 | 2050 | 2100 | 1070 | 870 | 770 | 460 | 410 | 320 | 750 | 1190 | 1370 | 2170 | 2050 | 2100 | 1070 | 870 | 770 | 460 | 410 | 320 | 780 |
| ET _o | mm/mes | 674 | 727 | 1059 | 1042 | 1047 | 607 | 538 | 505 | 334 | 303 | 228 | 496 | 674 | 727 | 1059 | 1012 | 1047 | 607 | 538 | 505 | 334 | 303 | 228 | 496 |
| K _c al aire libre | - | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| K _c invernadero | - | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| ET _a aire libre | mm/mes | 51.3 | 33.5 | 27.0 | 27.9 | 33.5 | 45.9 | 69.8 | 86.4 | 106.0 | 108.8 | 88.2 | 75.3 | 51.3 | 33.5 | 27.0 | 27.9 | 33.5 | 45.9 | 69.8 | 86.4 | 106.0 | 108.8 | 88.2 | 75.3 |
| ET _a invernadero | mm/mes | 35.9 | 23.4 | 18.9 | 19.5 | 23.4 | 32.1 | 48.8 | 60.5 | 74.2 | 76.2 | 61.7 | 52.7 | 35.9 | 23.4 | 18.9 | 19.5 | 23.4 | 32.1 | 48.8 | 60.5 | 74.2 | 76.2 | 61.7 | 52.7 |
| Producción de agua | L/mes | 10115 | 11645 | 18445 | 17425 | 17850 | 9095 | 7395 | 6545 | 3910 | 3485 | 2720 | 6630 | 10115 | 11645 | 18445 | 17425 | 17850 | 9095 | 7395 | 6545 | 3910 | 3485 | 2720 | 6630 |
| Volumen aportado al suelo | L/mes | 3372 | 3637 | 5296 | 5058 | 5237 | 3034 | 2692 | 2524 | 1672 | 1514 | 11385 | 24814 | 3372 | 3637 | 5296 | 5058 | 5237 | 3034 | 2692 | 2524 | 1672 | 1514 | 11385 | 24814 |
| Demanda aire libre | L/mes | 2850 | 1860 | 1500 | 1550 | 1860 | 2550 | 3875 | 4800 | 5890 | 6045 | 4900 | 4185 | 2850 | 1860 | 1500 | 1550 | 1860 | 2550 | 3875 | 4800 | 5890 | 6045 | 4900 | 4185 |
| Demanda invernadero | L/mes | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 5425 | 6720 | 8246 | 8463 | 6860 | 5859 | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 5425 | 6720 | 8246 | 8463 | 6860 | 5859 |
| Demanda real aire libre | L/mes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 883 | 1996 | 4033 | 4362 | 3635 | 1428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 883 | 1996 | 4033 | 4362 | 3635 | 1428 |
| Consumo doméstico | L/mes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo animal | L/mes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Demanda total | L/mes | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 6308 | 8716 | 12279 | 12825 | 10495 | 7287 | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 6308 | 8716 | 12279 | 12825 | 10495 | 7287 |
| Volumen inicial | L | 0 | 6125 | 15166 | 31511 | 46766 | 60000 | 60000 | 60000 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 | 31688 | 37813 | 46854 | 60000 | 60000 | 60000 | 60000 | 60000 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 |
| Oferta de agua | L | 6125 | 15166 | 31511 | 46766 | 62012 | 65525 | 61087 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 | 31688 | 37813 | 46854 | 63199 | 75255 | 75246 | 65525 | 61087 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 | 31688 |
| Volumen de rebalse | L | 0 | 0 | 0 | 0 | 2012 | 5525 | 1087 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3199 | 15255 | 15246 | 5525 | 1087 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Volumen final | L | 6125 | 15166 | 31511 | 46766 | 60000 | 60000 | 60000 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 | 31688 | 37813 | 46854 | 60000 | 60000 | 60000 | 60000 | 60000 | 57829 | 49461 | 40120 | 32345 | 31688 |

| Cuadro resumen | | |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| | Año 1 | Año 2 y siguientes |
| Producción de agua | 115 260 | 115 260 |
| Demanda total | 74 948 | 74 948 |
| Duración del agua | Rango 1: Abril a Marzo | Rango 1: Abril a Marzo |

Fuente: Elaboración propia.

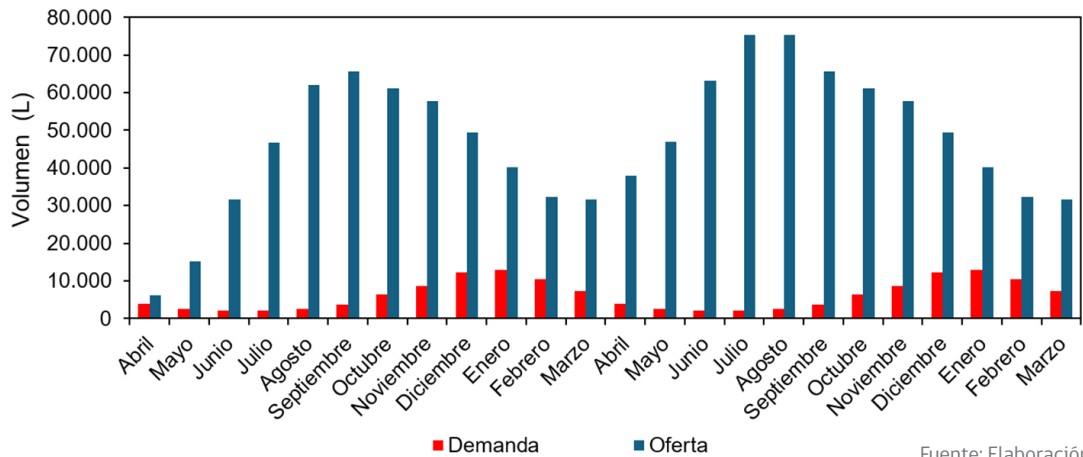
En la Figura 11 se muestra una “alerta” que posee la planilla de cálculo, la cual se activa si existe rebalse en el sistema y entrega una recomendación de aumentar el volumen del acumulador para evitar el derrame.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Alerta de rebalse.

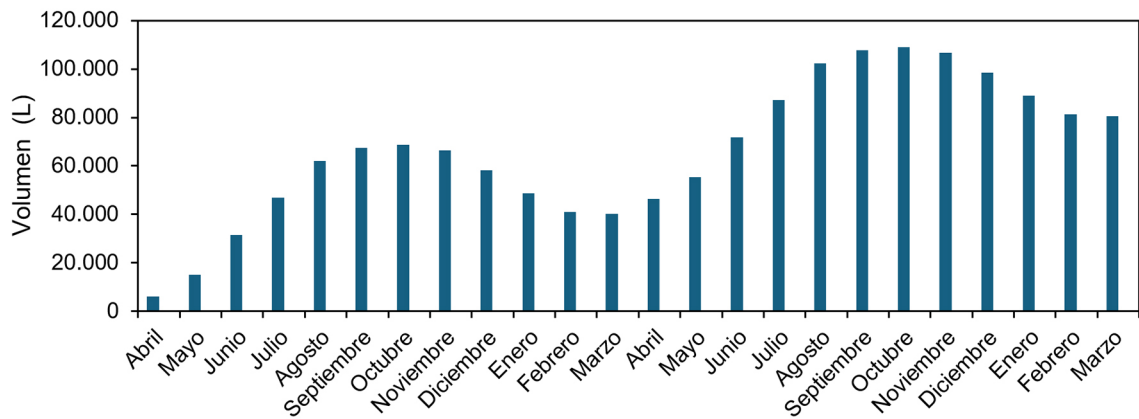
En la Figura 12 se muestra una comparación de la demanda y la oferta de agua, en la que se puede observar que la oferta de agua mensual es mucho mayor que la demanda. Sin embargo, esta oferta de agua no es efectiva, ya que para este ejemplo está limitada por el volumen ingresado para el acumulador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Oferta contrastada con la demanda de agua para el SCALL.

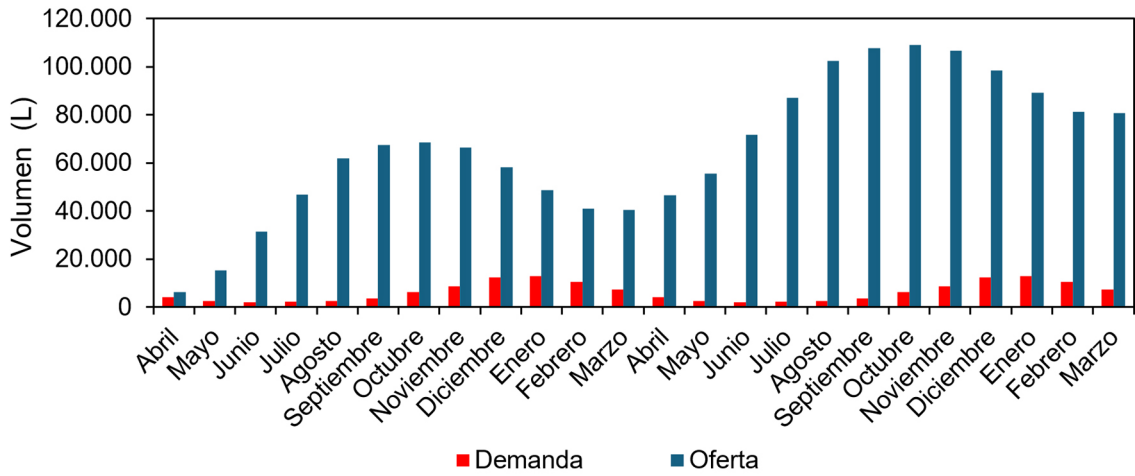
En la Figura 13 se muestran los volúmenes de rebalse y finales del balance hídrico del año 1 y 2. Se observa que existe rebalse y se está perdiendo agua, lo que indica que se debe aumentar el volumen del acumulador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Volumen al final del mes en el acumulador en comparación con su rebalse en función de los meses del año 1 y 2.

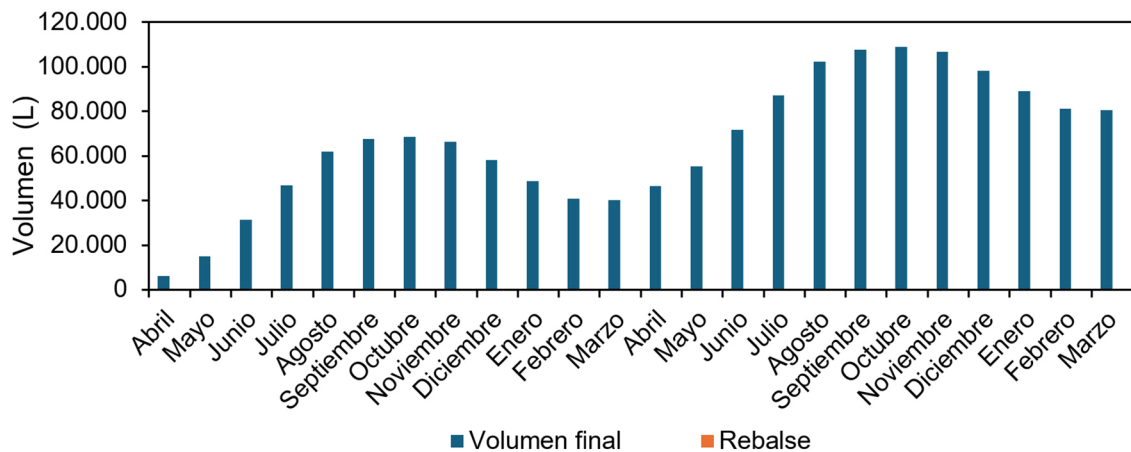
En la Figura 14 se muestran los volúmenes de demanda y oferta de agua, donde se observa que en algunos meses la oferta es mucho mayor que la demanda, para luego ir disminuyendo a medida que las precipitaciones van decayendo y la demanda comienza a ser abastecida por el volumen acumulado de los meses anteriores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Volúmenes de demanda y oferta para los meses tanto del año 1 como del año 2.

En la Figura 15 se muestra los volúmenes de rebalse y finales de cada mes. Se observa que en ningún mes existe rebalse por lo que toda el agua producida es almacenada y utilizada para cubrir la demanda total.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Volúmenes finales y de rebalse en función de los meses del año 1 y 2 del balance hídrico.

Analizando los volúmenes finales de los balances del año 1 y 2, se observa que el volumen máximo que se alcanza a acumular es de 108.935 L y no existe rebalse, por lo que el acumulador de 110.000 L es suficiente para operar el SCALL bajo las condiciones dadas.

Ejemplo 2: Considerando las demandas de cultivo, consumo doméstico y animal.

A los datos de partida de las Tablas 10 y 11, se agregó el consumo doméstico 4 personas y en consumo animal se consideró 10 gallinas, 2 cerdos, 2 vacunos, 1 caballo, 4 patos, 2 pavos y 4 gansos como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Datos partida de consumo doméstico y consumo animal.

| | | |
|---|---------------------------------|-----|
| 7 | Nº de personas | 4 |
| | Total consumo doméstico (L/día) | 272 |

| | Especie | Cantidad |
|---|------------------------------|----------|
| 8 | Gallinas | 10 |
| | Cerdo | 2 |
| | Caballo | 1 |
| | Bovino de carne | 2 |
| | Ovejas | 0 |
| | Cabras | 0 |
| | Patos | 4 |
| | Pavos | 2 |
| | Gansos | 4 |
| | Total consumo animal (L/día) | 158,2 |

Fuente: Elaboración propia.

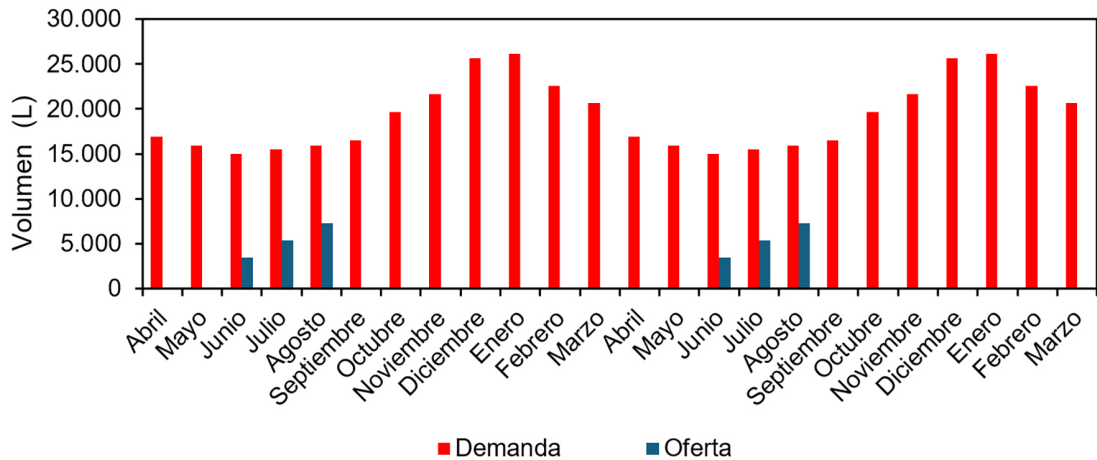
En este caso se va a mantener el volumen del acumulador del ejemplo anterior que era de 8.000 L. En la Tabla 17 se muestra el balance hídrico del primer año de operación.

Tabla 17. Resultados del balance hídrico del SCALL.

| Resultados de balance hídrico | | Año 1 | | | | | | | | | | | | Año 2 y años siguientes | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|
| | | Año 1 | | | | | | | | | | | | Año 2 y años siguientes | | | | | | | | | | | |
| | | Unidad | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero |
| Precipitación efectiva | mm/mes | 1190 | 1370 | 2170 | 2050 | 2100 | 1070 | 870 | 770 | 460 | 410 | 320 | 780 | 1190 | 1370 | 2170 | 2050 | 2100 | 1070 | 870 | 770 | 460 | 410 | 320 | 780 |
| ET _c invernal | mm/mes | 674 | 727 | 1059 | 1012 | 1047 | 607 | 538 | 505 | 334 | 303 | 228 | 496 | 674 | 727 | 1059 | 1012 | 1047 | 607 | 538 | 505 | 334 | 303 | 228 | 496 |
| ET _c invernal | mm/mes | 570 | 372 | 300 | 310 | 372 | 510 | 775 | 960 | 1178 | 1209 | 980 | 837 | 570 | 372 | 300 | 310 | 372 | 510 | 775 | 960 | 1178 | 1209 | 980 | 837 |
| K _c al aire libre | - | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| K _c invernal | - | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| ET _c aire libre | mm/mes | 51,3 | 33,5 | 27,0 | 27,9 | 33,5 | 45,9 | 69,8 | 86,4 | 106,0 | 108,8 | 88,2 | 75,3 | 51,3 | 33,5 | 27,0 | 27,9 | 33,5 | 45,9 | 69,8 | 86,4 | 106,0 | 108,8 | 88,2 | 75,3 |
| ET _c invernal | mm/mes | 35,9 | 23,4 | 18,9 | 19,5 | 23,4 | 32,1 | 48,8 | 60,5 | 74,2 | 76,2 | 61,7 | 52,7 | 35,9 | 23,4 | 18,9 | 19,5 | 23,4 | 32,1 | 48,8 | 60,5 | 74,2 | 76,2 | 61,7 | 52,7 |
| Producción de agua | L/mes | 10115 | 11645 | 18445 | 17425 | 17850 | 9095 | 7395 | 6545 | 3910 | 3485 | 2720 | 6630 | 10115 | 11645 | 18445 | 17425 | 17850 | 9095 | 7395 | 6545 | 3910 | 3485 | 2720 | 6630 |
| Volumen aportado al suelo | L/mes | 3372 | 3637 | 5296 | 5058 | 5237 | 3034 | 2692 | 2524 | 1672 | 1514 | 1138,5 | 2481,4 | 3372 | 3637 | 5296 | 5058 | 5237 | 3034 | 2692 | 2524 | 1672 | 1514 | 1138,5 | 2481,4 |
| Demanda aire libre | L/mes | 2850 | 1860 | 1500 | 1550 | 1860 | 2550 | 3875 | 4800 | 5890 | 6045 | 4900 | 4185 | 2850 | 1860 | 1500 | 1550 | 1860 | 2550 | 3875 | 4800 | 5890 | 6045 | 4900 | 4185 |
| Demanda invernal | L/mes | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 5425 | 6720 | 8246 | 8463 | 6860 | 5859 | 3990 | 2604 | 2100 | 2170 | 2604 | 3570 | 5425 | 6720 | 8246 | 8463 | 6860 | 5859 |
| Demanda real aire libre | L/mes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 883 | 1996 | 4033 | 4362 | 3635 | 1428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 883 | 1996 | 4033 | 4362 | 3635 | 1428 |
| Consumo doméstico | L/mes | 8160 | 8432 | 8160 | 8432 | 8432 | 8160 | 8432 | 8160 | 8432 | 8432 | 7616 | 8432 | 8160 | 8432 | 8160 | 8432 | 8432 | 8160 | 8432 | 8160 | 8432 | 8432 | 7616 | 8432 |
| Consumo animal | L/mes | 4746 | 4904 | 4746 | 4904 | 4904 | 4746 | 4904 | 4746 | 4904 | 4904 | 4430 | 4904 | 4746 | 4904 | 4746 | 4904 | 4904 | 4746 | 4904 | 4746 | 4904 | 4904 | 4430 | 4904 |
| Demanda total | L/mes | 16896 | 15940 | 15006 | 15506 | 15940 | 16476 | 19645 | 21622 | 25615 | 26162 | 22541 | 20623 | 16896 | 15940 | 15006 | 15506 | 15940 | 16476 | 19645 | 21622 | 25615 | 26162 | 22541 | 20623 |
| Volumen inicial | L | 0 | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oferta de agua | L | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Volumen de rebalse | L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Volumen final | L | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3439 | 5358 | 7268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Cuadro resumen | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Año 1 | Año 2 y siguientes |
| Producción de agua | 115.260 | 115.260 |
| Demanda total | 231.971 | 231.971 |
| Duración del agua | Rango 1: Junio a Agosto | Rango 1: Junio a Agosto |

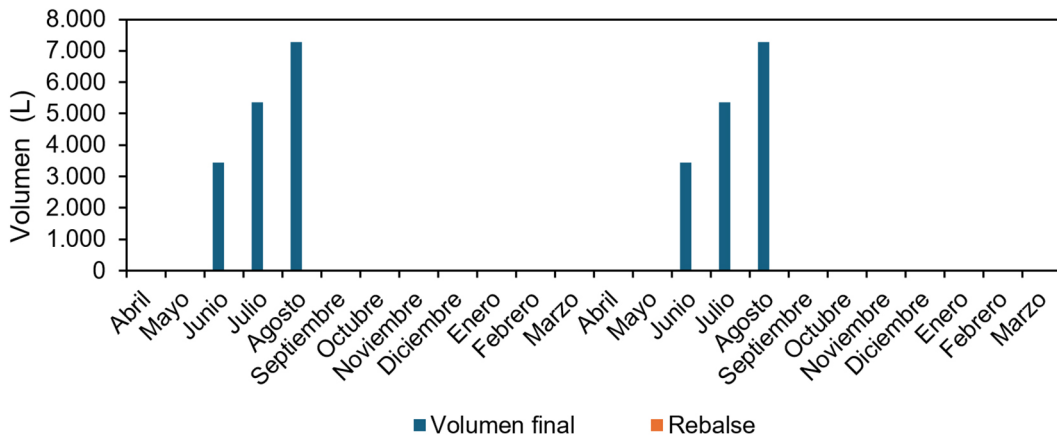
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Volumen de demanda en comparación con la oferta de agua en función de los meses.

En la Figura 17 se muestra el volumen final y de rebalse del acumulador de 8.000 L. Si se observa la Figura 16, 17 y Tabla 19, se concluye que no existe rebalse y el acumulador es suficiente para almacenar los volúmenes captados, en contraste de que el agua no es suficiente para cubrir la demanda.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Volumen de rebalse y final del acumulador para el año 1 y 2 de operación.

Al analizar las Tablas 17 y las Figuras 16 y 17, se puede concluir que el agua no alcanza para todo el año. Además, si se considera que esta agua es para consumo doméstico (excluyendo el consumo humano) y animal, se debe intentar en lo posible que el agua dure todo el año. Esto se logra aumentando la superficie de captación y/o disminuyendo la superficie de riego en invernadero y/o al aire libre. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe repetir el procedimiento iterando hasta que los volúmenes almacenados alcancen para todo el año. En caso contrario que no se pueda modificar el diseño para acumular más agua, se sugiere priorizar el agua para riego.

3.4. Dimensionamiento de canaletas y tuberías de conducción

Para el dimensionamiento, se emplea la siguiente ecuación para determinar la contribución de caudal proveniente de la techumbre, la cual también es aplicable al cálculo de la contribución de superficie en laderas.

$$Q = C \cdot i \cdot \frac{A}{3,6} \quad [14]$$

Donde:

Q : caudal ($m^3 s^{-1}$).

C : coeficiente de escorrentía mostrados en Tabla 9.

i : intensidad de lluvia (mm/h) para el periodo de retorno de diseño y una duración igual al tiempo de concentración.

A : área de drenaje o escurrimiento de techumbre o ladera (m^2).

Para el cálculo de A , se debe emplear la siguiente ecuación:

$$A = L \cdot b \quad [15]$$

Donde:

A = área de drenaje o escurrimiento (m^2).

L = largo de la techumbre (m).

b = ancho de la techumbre (m).

Para calcular el número de bajadas necesarias para una techumbre, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{A}{AT} \quad [16]$$

Siendo

N_c : número de bajadas necesarias.

A : área de la superficie de captación (m^2).

AT : área máxima de techumbre por bajada según fabricante (m^2).

Dicha área está relacionada directamente con las medidas y especificaciones de fabricación de cada marca, por lo que cada fabricante generalmente ofrece una recomendación del área máxima a evacuar por bajada (Tabla 18).

Tabla 18. Recomendaciones de área máxima de techo por bajada.

| Fabricante | AT (m^2) |
|-------------------|--------------|
| Vinilit perfil 25 | 66 |
| Vinilit perfil 31 | 143 |
| Tigre | 94 |
| Hoffens | 65 |

Fuente: Elaboración propia en base a catálogos de fabricantes.

Luego, se debe calcular el espaciamiento entre bajadas (d) que viene dado por la siguiente ecuación, que se emplea cuando hay 2 o más tubos de bajada.

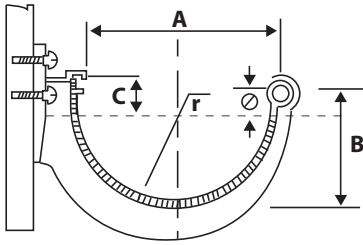
$$d = \frac{b}{(N_c - 1)} \quad [19]$$

Donde:

d = espaciamiento entre bajadas (m).

b = largo de la techumbre (m).

N_c = número de bajadas necesarias.



| Comparación de medidas | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Perfil | Sup. de evacuación por bajada (m ²) | Desarrollo (cm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | r (mm) | O (mm) |
| 25 | 66 | 25 | 112 | 72 | 24 | 56 | 14 |
| 31 | 143 | 31 | 168 | 103 | 24 | 84 | 18 |

Fuente: Vinilit.

Figura 18. Detalle de medidas según perfil para los productos Vinilit.

La metodología anterior de cálculo puede ser sustituida en base a las recomendaciones de cada fabricante, las cuales se describen en el capítulo siguiente.

3.5. Recomendaciones de los fabricantes

Los accesorios asociados al SCALL en general solo difieren en sus medidas en función del fabricante. El orden de ensamble se detalló en la sección 2.2.

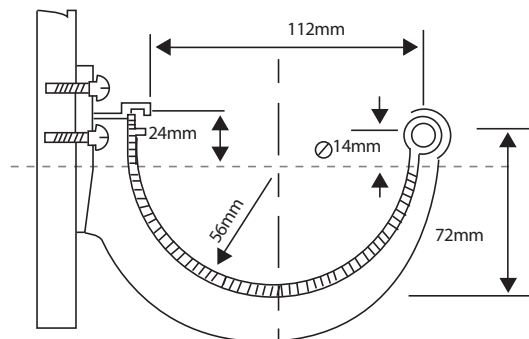
3.5.1. RECOMENDACIÓN SEGÚN VINILIT

La selección recomendada, en este caso Vinilit, la realiza según la superficie de evacuación por cada bajada en el sistema, las especificaciones de cada perfil de canaleta se detallan en la Figura 19:

- **Perfil 25:** Se recomiendan para edificaciones residenciales, viviendas de hasta dos pisos con diámetros de bajada de 80 mm en tuberías de 3 y 5 metros y largos de perfil de canaletas de 4 metros.
- **Perfil 31:** Se recomiendan en edificaciones industriales, ya que logran abarcar una mayor superficie por bajada, como bodegas, centros comerciales y logísticos, con diámetro de bajada de 100 mm con largos de tuberías y canaletas de 3 metros.

3.5.2. RECOMENDACIÓN SEGÚN HOFFENS

En el caso de Hoffens solo ofrece perfiles 25 en canaletas de 4 metros, además ofrece sistemas de bajada en 75 y 80 mm y recomienda que para 65 m² de techumbre o 12 metros lineales de canaleta, se debe instalar una bajada de agua lluvia. Se sugiere que la canaleta tenga una pendiente de 3 a 5 mm por metro lineal instalada. También se recomienda en la instalación que los ganchos que soportan el peso de la canaleta tengan una separación de 60 cm. En el caso de las bajadas se sugiere instalar una abrazadera cada 2 metros como máximo. Las medidas ofrecidas por este fabricante se muestran en la Figura 21.

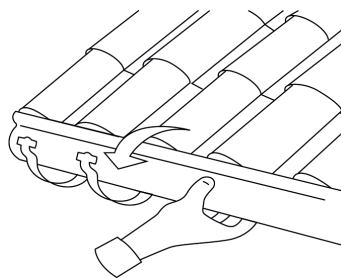


Fuente: Hoffens.

Figura 19. Detalle de perfil 25 comercializado por Hoffens.

3.5.3. RECOMENDACIÓN SEGÚN TIGRE

Según el fabricante Tigre, la pendiente de las canaletas debe ser de 5 mm por cada metro, ya que con esta inclinación la canaleta tiene la capacidad de conducción de agua de 418 l/min. Pero este caudal disminuye ya que la cantidad de agua está limitada por el número de bajadas. Para el conjunto de canaletas y tubo de bajada circular, el caudal máximo de captación es de 357 l/min. En el caso del tubo de bajada rectangulares su capacidad máxima de transporte es de 280 l/min. En la Figura 20 se muestra un esquema del producto ofrecido por Tigre.



Fuente: Tigre.

Figura 20. Esquema con detalle de instalación de canaleta según fabricante.

3.6. Selección de sistema de acumulación

La elección del tipo de estanque depende de varios factores, como la capacidad requerida, las condiciones del terreno, el clima y el presupuesto disponible. La Tabla 19 presenta un cuadro comparativo que muestra las ventajas y desventajas de diversos tipos de estanques de acumulación, incluyendo estanques verticales plásticos, estanques tipo australiano, estanques enterrados revestidos con geomembrana, cisternas flexibles y estanques autosoportantes.

Tabla 19. Ventajas y desventajas de los distintos tipos de estanques utilizados en la acumulación de aguas lluvias.

| | 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 en cuenta los aspectos que se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Consideraciones climáticas en la elección del estanque.

| Tipo de estanque | Vientos extremos | Radiación solar y luz solar directa | Nieve | Temperaturas extremas |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 acumulación de nieve. | Medidas de aislamiento pueden ser necesarias para evitar el congelamiento a temperaturas bajas. |
| Estanques australianos. | 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 aparición de algas en el agua almacenada, siendo necesario considerar medidas para mantenerla dentro de un rango adecuado. |
| 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 sombreadora. | 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. |
| 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. |
| 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. |

Fuente: Elaboración propia.

En relación con el diseño de los sistemas, este dependerá directamente del balance hídrico que se realice en el predio específico y la disponibilidad de superficies captantes. Sin embargo, se debe poner especial atención en la selección del acumulador adecuado para las dimensiones del predio. Un factor que considerar es la diferencia de altura del techo que se utilizará y compararla con la altura máxima de llenado del estanque, por ejemplo, si selecciona un estanque con una altura máxima de llenado de 3 metros y el techo que se desea utilizar tiene una altura de 2 metros, el estanque tendrá un volumen muerto de 1 metro.

3.7. Cubicación y costos de materiales

En la Tabla 21 se muestran los valores de diseño de un proyecto SCALL y son los necesarios para realizar la cubicación de materiales. Cabe mencionar que dichos valores corresponden al ejemplo propuesto en el apartado 3.2.4.

Tabla 21. Valores de diseño correspondientes a un proyecto SCALL.

| Cálculo del acumulador SCALL | |
|---------------------------------------|--------|
| Precipitación (mm·año ⁻¹) | 349 |
| Área de captación (m ²) | 300 |
| Factor de escorrentía | 0,85 |
| Volumen del acumulador (L) | 70.000 |

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta los valores de la Tabla 21, se realizó la cubicación de materiales para el sistema de captación mostrada en la Tabla 22.

Tabla 22. Cubicación de materiales para SCALL para un proyecto de 100 m² de superficie captante.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Valor unitario | Neto |
|------------------------------------------|--------|----------|----------------|--------------------|
| Canaleta 4m perfil 25 | Unidad | 48 | \$6.042 | \$290.016 |
| Tapa accesorio | Unidad | 12 | \$1.286 | \$15.432 |
| Tapa canaleta | Unidad | 12 | \$1.252 | \$15.024 |
| Bajada cementada | Unidad | 12 | \$3.336 | \$40.032 |
| Unión canaleta | Unidad | 35 | \$1.370 | \$47.950 |
| Gancho fijación tradicional | Unidad | 353 | \$870 | \$306.675 |
| Copla tubo bajada | Unidad | 12 | \$1.891 | \$22.692 |
| Abrazadera tubo bajada | Unidad | 48 | \$1.084 | \$52.032 |
| Pegamento PVC 470 cc | Unidad | 3 | \$4.874 | \$14.622 |
| Tee de registro sanitario 75mm | Unidad | 12 | \$4.866 | \$58.392 |
| Tubo PVC sanitario 75mm 6m | Unidad | 8 | \$8.395 | \$67.160 |
| Codo PVC sanitario 75mm | Unidad | 20 | \$655 | \$13.100 |
| Filtro recolector de hojas SMART FILTRO* | Unidad | 4 | \$91.990 | \$367.960 |
| Tubo PVC sanitario 110mm 6m | Unidad | 11 | \$10.916 | \$120.076 |
| Codo PVC sanitario 110mm | Unidad | 20 | \$1.420 | \$28.400 |
| Tee sanitario 110mm | Unidad | 20 | \$2.513 | \$50.260 |
| Instalación del sistema | gl | 1 | \$400.000 | \$400.000 |
| | | | Total | \$1.909.823 |

*Smart Filtro, es un sistema que consta de 4 filtros de tratamiento, un filtro antihojas, un decantador, un filtro fino y un filtro clorador que evitan la contaminación por bacterias e insectos del agua lluvia captada (ver Figura 5).

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 23 muestra los costos asociados al apartado de acumulación del SCALL, más las consideraciones de instalación de este, como cerco perimetral, necesario para proteger la cisterna flexible y los fletes de materiales al lugar de instalación.

Tabla 23. Costo de acumulación de cisterna flexible considerando cerco perimetral.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Valor unitario | Neto |
|--------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------------|------------------|
| Cisterna flexible cerrada autoportante agrícola 110 m ³ | Unidad | 1 | 3.408.054 | 3.408.054 |
| Cerco perimetral | m | 32 | 8.382 | 268.224 |
| Fletes materiales | gl | 1 | 120.000 | 120.000 |
| | | | Total | 3.536.436 |

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Sistema de riego

Usualmente los SCALL van asociados a sistemas de riego por goteo, que abarcan superficies pequeñas. Para diseñar un sistema de riego y seleccionar las líneas de riego y sus emisores, se debe tener en cuenta el tipo de cultivo y la distribución de las plantas en el terreno.

3.8.1. SELECCIÓN DEL LATERAL Y EMISOR

En los proyectos que involucren financiamiento de la CNR se solicita que las líneas de riego y goteros tengan una vida útil de a lo menos 10 años. 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. Mencionado lo anterior y considerando el aumento de 400 a 1.000 UF en proyectos del Programa de Pequeña Agricultura producto de la actualización de la ley 18.450 en septiembre del 2023, se recomienda utilizar líneas de riego con un espesor mínimo de 0,9 mm para garantizar una mayor vida útil de las líneas de riego y evitar que el agricultor las deba reemplazar continuamente. Además, se recomienda utilizar líneas con goteros integrados, ya que las alternativas que ofrece actualmente el mercado se adaptan de buena forma al cultivo de hortalizas al aire libre y en invernadero con relación a caudal y espaciamiento de los emisores. Los valores de caudal de emisores utilizados en invernaderos y cultivos al aire libre que emplean SCALL como fuente de agua varían típicamente entre 0,7 y 2,0 L/h. La Tabla 24, muestra distancias de emisores según distintos marcos de plantación.

Tabla 24. Distancia entre emisores en función de los marcos de plantación de distintos cultivos.

| Cultivo | DSH (cm) | DEH (cm) | D emisores (cm) |
|------------------|----------|----------|-----------------|
| Acelga | 30 | 40 | 30 |
| Ají | 40 | 45 | 40 |
| Ajo | 10 | 20 | 20 |
| Alcachofa | 70 | 100 | 30 |
| Cilantro | 30 | 70 | 30 |
| Arvejas | 40 | 40 | 40 |
| Betarragas | 15 | 30 | 30 |
| Brócoli | 40 | 70 | 40 |
| Cebolla | 15 | 25 | 30 |
| Cilantro | 4 | 20 | 30 |
| Coliflor | 40 | 70 | 40 |
| Espinacas | 15 | 30 | 30 |
| Frutillas | 20 | 15 | 40 |
| Habas | 25 | 30 | 25 |
| Lechugas | 20 | 30 | 20 |
| Maíz choclo | 30 | 60 | 30 |
| Papas | 30 | 70 | 30 |
| Pepino | 30 | 100 | 30 |
| Perejil | 5 | 30 | 30 |
| Pimiento | 30 | 60 | 30 |
| Poroto | 30 | 50 | 30 |
| Poroto verde | 30 | 50 | 30 |
| Puerros | 10 | 30 | 20 |
| Rabanitos | 5 | 40 | 20 |
| Repollo | 40 | 60 | 40 |
| Sandía | 50 | 100 | 25 |
| Tomate | 50 | 100 | 50 |
| Zanahoria | 5 | 20 | 30 |
| Zapallo | 100 | 200 | 50 |
| Zapallo italiano | 80 | 100 | 40 |

DSH: distancia sobre hileras del cultivo.
DEH: distancia entre hileras del cultivo.
D emisores: espaciamiento entre los emisores.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. ALTURA DINÁMICA TOTAL

Un diseño adecuado debe considerar los cálculos hidráulicos necesarios para que el sistema de riego funcione de manera adecuada, por esto se debe calcular la altura dinámica total (ADT) considerando las características del sistema de riego, para finalmente seleccionar el equipo de bombeo:

$$ADT = P_o + H_L + H_s + H_f + \Delta Z \quad [18]$$

Donde:

P_o = presión requerida en la entrada del lateral de riego (m).

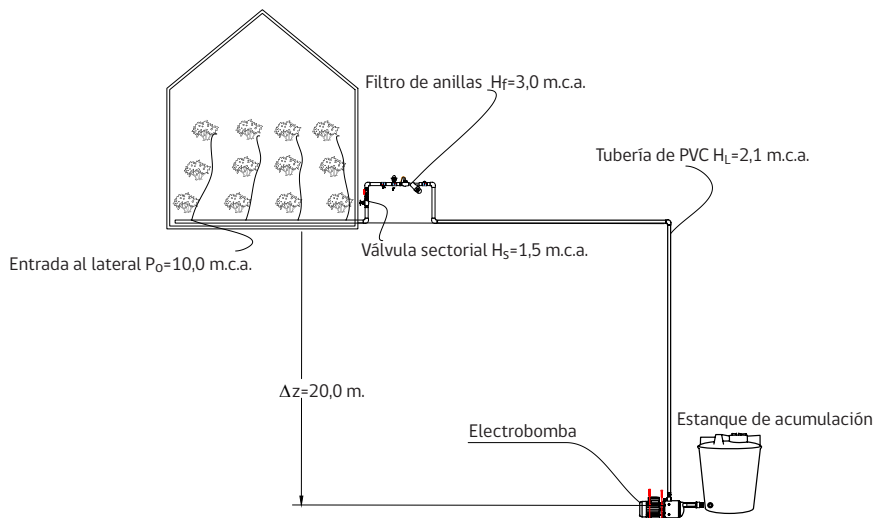
H_L = pérdida de carga por conducción (m).

H_s = pérdidas de carga singulares (m).

H_f = pérdidas de carga por filtros (m).

ΔZ = diferencia de cota entre fuente de agua y sector crítico de riego.

En el caso de que la diferencia de altura (ΔZ) no sea la suficiente como para accionar el sistema de forma gravitacional, se debe realizar el cálculo de la altura dinámica como se muestra en la ecuación [18] con el fin de obtener la presión necesaria que debe ejercer la bomba para accionar el sistema de riego. En la Figura 21 se muestran las pérdidas de carga existentes en el sistema (se desprecia la altura de agua que posee el estanque).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Sistema de riego propuesto con necesidad de instalación de bomba para funcionar.

A partir de lo mostrado en la Figura 21 y utilizando la ecuación [18] se tiene la siguiente expresión:

$$ADT = 10,0 + 2,1 + 1,5 + 3,0 + 20,0$$

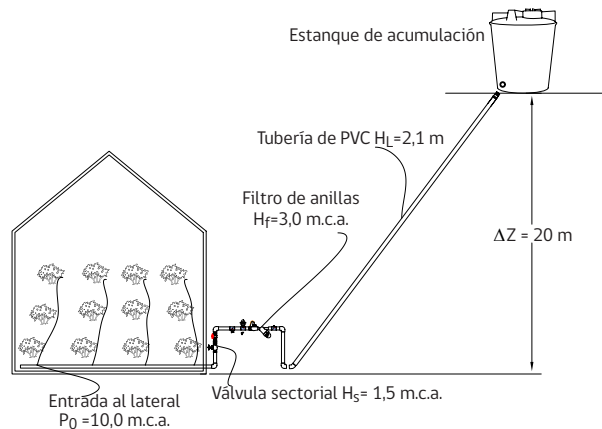
$$ADT = 36,6 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto, la altura dinámica necesaria para operar el sistema correctamente es de 36,6 m.c.a., que es la presión necesaria que debe generar la bomba seleccionada para este caso.

En algunos casos si la diferencia de cota entre el estanque y el sistema de riego lo permite, se puede operar el sistema de forma gravitacional, modificándose entonces la ecuación 18 y resultando en la siguiente expresión:

$$\Delta Z \geq ADT = P_o + H_L + H_s + H_f \quad [19]$$

A modo de ejemplificar la situación anterior se muestra el siguiente caso (Figura 22): Se cuenta con un estanque de acumulación que tiene una diferencia de cota de 20,0 metros respecto de un invernadero que se pretende regar. El requerimiento de presión de entrada al lateral es de 10,0 m.c.a., las pérdidas de carga lineales se estiman en 2,1 m.c.a., las pérdidas de carga por filtro de anillas equivalen a 3,0 m.c.a. y las singulares a 2,3 m.c.a. (válvula sectorial y accesorios menores).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Ejemplo considerado como riego gravitacional debido a la diferencia de cota existente.

En base a lo mostrado en Figura 22 y en la ecuación [19], el cálculo de la ADT sería de la siguiente manera (se desprecia la altura de agua que posee el estanque):

$$\begin{aligned}
 ADT &= 10,0 + 2,1 + 1,5 \\
 ADT &= 13,6 \text{ m.c.a.} \\
 \Delta Z &\geq ADT \\
 20 \text{ m.c.a.} &\geq 13,6 \text{ m.c.a.}
 \end{aligned}$$

En conclusión, la altura dinámica requerida para operar el sistema de riego es de 17,4 m.c.a. por lo que la diferencia de cota de 20 metros es suficiente para operar el equipo con la presión adecuada.

3.9. Consideraciones del sistema de riego

Si bien existe una gran variedad de accesorios de riego, en este apartado se describen y se realizan recomendaciones de los componentes más críticos para los sistemas de riego que se asocian a SCALL.



PROGRAMADOR

Si bien su uso no es frecuente, este sirve para activar el sistema de riego por sectores, aplicando el agua en función del tiempo de riego. En caso de presentar uno o más sectores de riego se recomienda utilizar este accesorio. En caso de un único sector de riego se recomienda utilizar un timer.

VÁLVULAS SOLENOIDES

También llamadas válvulas eléctricas, se utilizan para abrir o cerrar sectores de riego mediante el uso de un programador. En sistemas de riego de superficies pequeñas su uso no es frecuente debido a que los tiempos de riego son usualmente cortos, lo que provoca que se suela regar todos los cultivos simultáneamente. Se recomienda cuando la cantidad de sectores proyectados haga necesario automatizar las aperturas y cierres por comodidad de operación para el agricultor.





TIMER

Se recomienda utilizar debido a su simplicidad de operación, lo que lo hace atractivo para el agricultor bajo la condición que se tenga solo un sector de riego.

MINI VÁLVULAS

Como las superficies de riego asociadas a SCALL suelen ser pequeñas, ya sea al aire libre o en invernaderos, una forma efectiva de sectorizarlas es mediante el uso de mini válvulas de riego. Esto permite regar únicamente los sectores que lo requieran, por ejemplo, cuando se tienen dos cultivos con diferentes fechas de siembra, evitando así el exceso de humedad en el suelo sin sembrar.



VÁLVULAS DE AIRE O VENTOSAS

Se deben considerar al menos una válvula de aire a la salida del equipo de bombeo para evitar que acumulaciones de aire disminuyan la sección de flujo de agua en la matriz del sistema de riego. También se debe considerar instalar válvulas ventosas en los nodos de riego para eliminar el aire acumulado dentro de la tubería.

FILTROS

Usualmente los sistemas de riego de estas características incluyen filtros de malla o anillas los que son muy comunes en el mercado. La capacidad de filtrado de estos se mide en mesh, que representa la cantidad de orificios por pulgada lineal. La capacidad de filtrado requerida para el sistema usualmente está dada por el fabricante de los emisores en su ficha técnica. El sistema debe considerar al menos un filtro y sería recomendable posicionarlo luego de la inyección de fertilizantes para retener restos de mezcla nutritiva que no hayan sido diluido por completo en la solución. En términos del tipo de filtro adecuado, debido a la escala de producción, caudales de operación y calidad de agua, suele ser suficiente el uso de filtros de tipo malla o anilla de 200 mesh ó 85 micrones, de igual forma se debe revisar la recomendación de capacidad de filtrado recomendada por el fabricante de la línea de riego a utilizar.

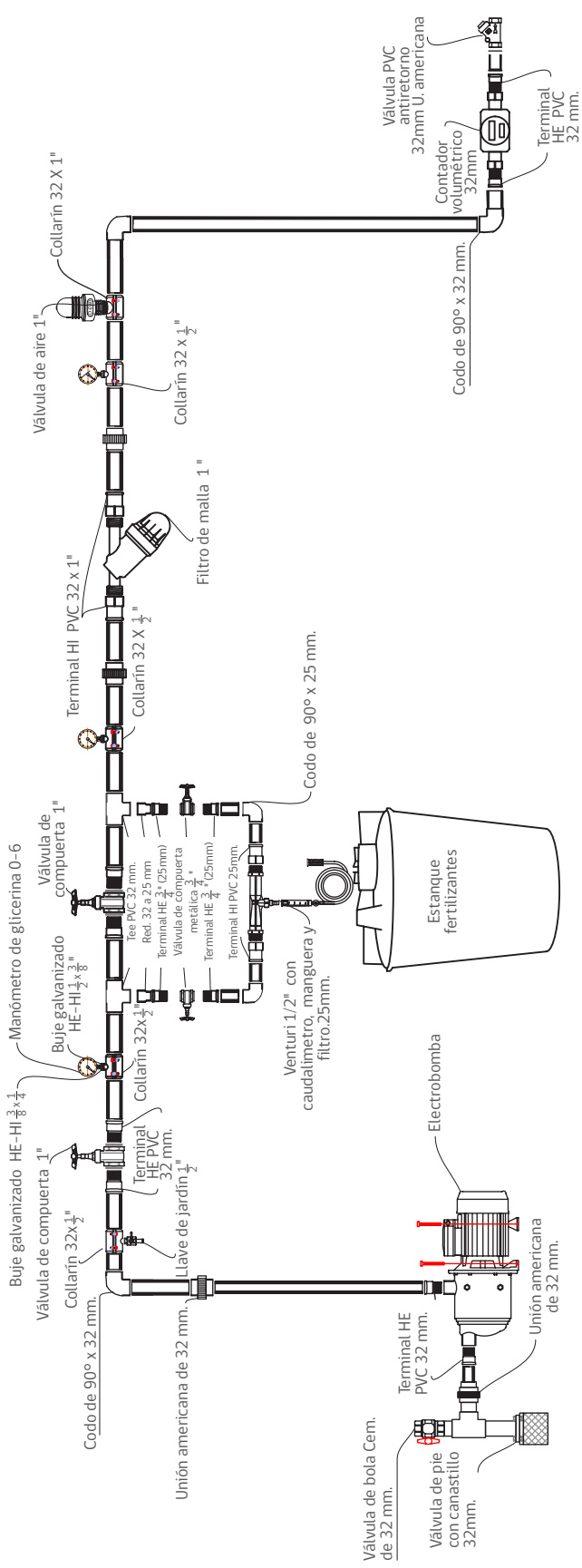


INYECTOR DE FERTILIZANTES

El sistema Venturi representa el método más económico y eficaz para la inyección de fertilizantes en sistemas de pequeña escala y es comúnmente utilizado en los SCALL.

3.9.1. CABEZAL DE CONTROL Y NODOS DE VÁLVULAS

La Figura 23 muestra un cabezal de control sugerido para sistemas de riego por goteo asociados a SCALL, proporcionando detalles sobre todas sus componentes y medidas.



CCC

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Recomendación de accesorios de riego en el cabezal de control.

3.9.2. FILTROS

Se recomienda la utilización de algún filtro que permita la instalación de una llave de paso en su extremo, a modo de facilitar la limpieza semiautomática de éste. La Figura 24 muestra una recomendación genérica de cómo instalar esta llave en un filtro Azud 100.



Fuente: www.azud.com.

Figura 24. Pasos para la instalación de una llave de paso al extremo del filtro.

Respetando la dirección de flujo indicada en la carcasa del filtro, se sugiere instalar este en las posiciones “a” o “b” mostradas la Figura 25, lo que facilita los labores de mantenimiento. Además, se recomienda considerar la instalación de uniones americanas aguas arriba y aguas abajo del filtro para facilitar el cambio o reparación.



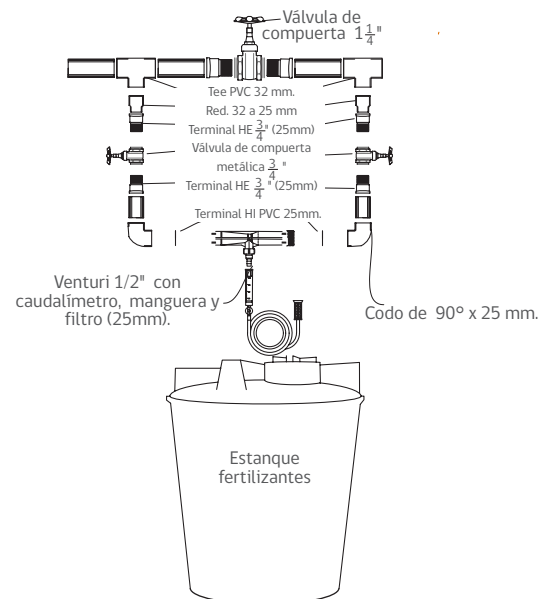
Fuente: Manual de instrucciones AZUD modular 100.

Figura 25. Recomendación de posición de filtro.

Se puede utilizar el mismo procedimiento para el filtro de anillas, teniendo cuidado en que la dirección de flujo sea la adecuada (Figura 25c). En cualquier escenario, se debe revisar la indicación de instalación según el fabricante.

3.9.3. FERTIRRIEGO

Se sugiere la instalación de un sistema de inyección de fertilizante tipo Venturi no superior a 1/2 pulgada, ubicado en un by-pass en la tubería matriz, asociado a lo menos a un estanque de 60 litros para mezcla. La Figura 26 muestra un esquema recomendado de instalación.

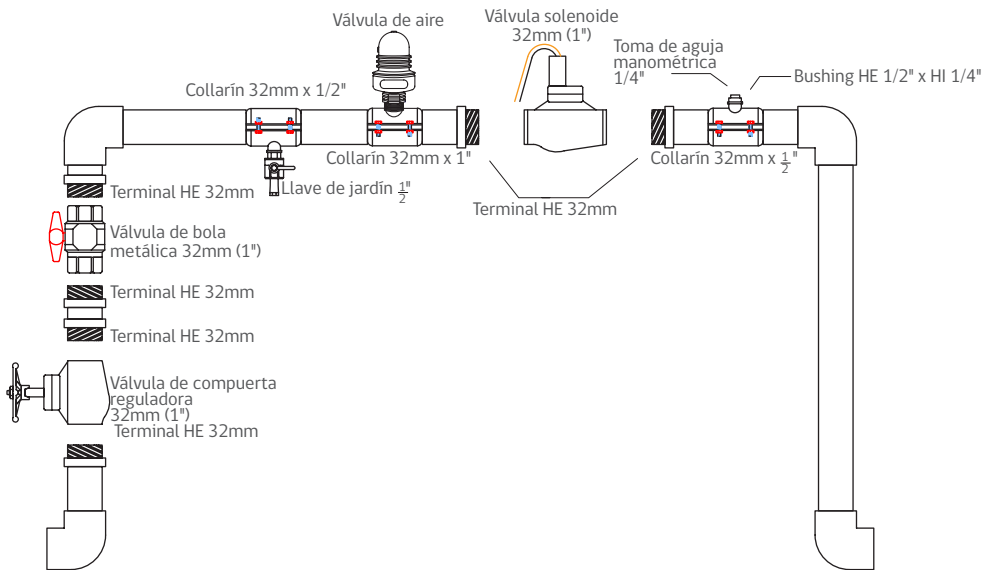


Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Esquema de instalación de Venturi con las medidas típicas de un sistema SCALL.

3.9.4. NODOS SECTORIALES

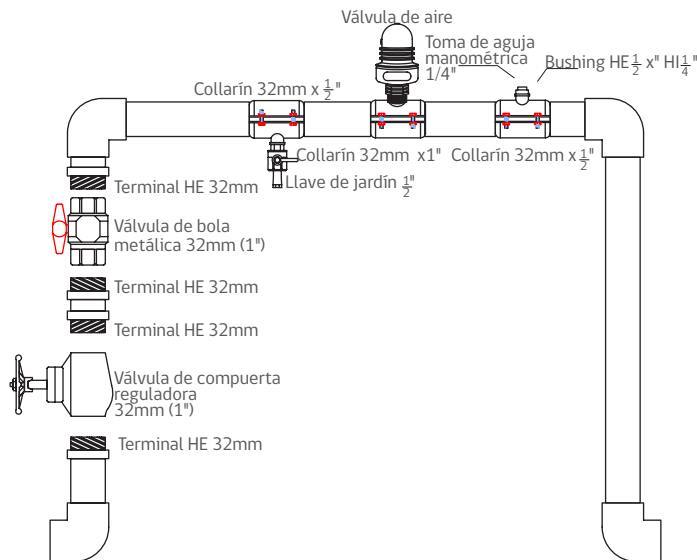
Para la instalación de los nodos automáticos de riego se debe considerar que contengan como mínimo los siguientes elementos, como se muestra en la Figura 27. Se recomienda dejar una válvula de bola manual para no interrumpir el riego en caso de falla del programador o válvula solenoide.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Recomendación de accesorios de riego para nodos automáticos.

En los casos en que no se precise automatización se puede incorporar un nodo manual, que usualmente se utiliza cuando son 1 o 2 sectores de riego, el cual se detalla en la Figura 28.

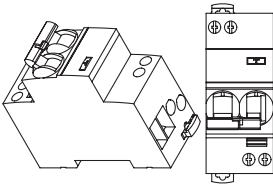
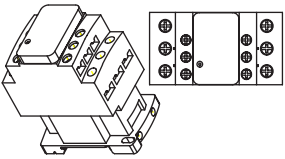
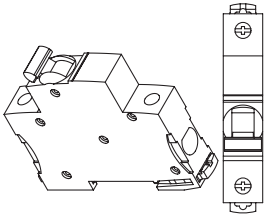
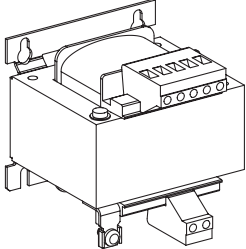
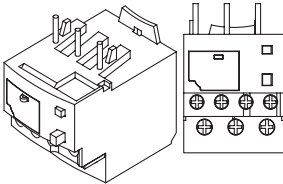
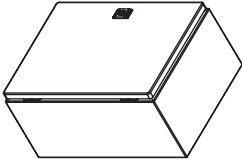
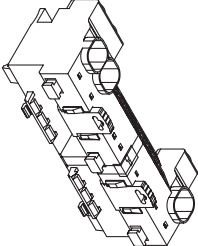
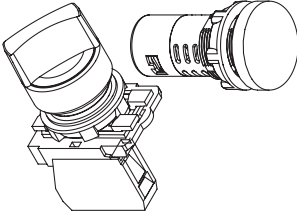
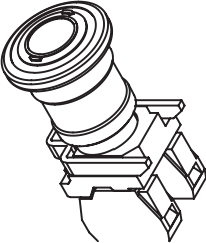
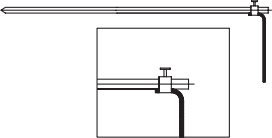


Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Detalle de nodo manual con sus componentes y medidas.

3.9.5. 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 y el usuario, como:

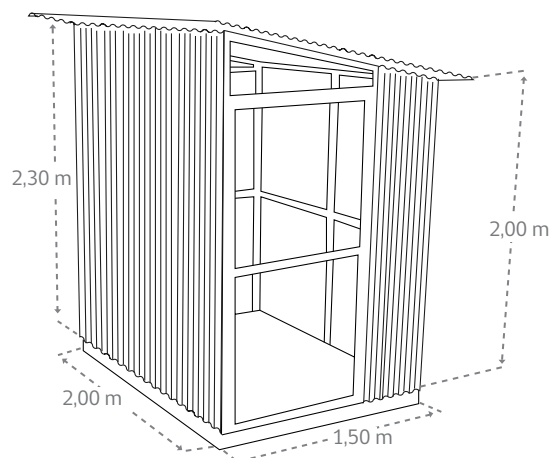
| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Interruptor termomagnético diferencial general (protege el circuito general).</p> |  | <p>Contactador 24V a 220V (elemento de control de bomba).</p> |  |
| <p>Interruptor termomagnético general de carga de enchufe (protege cargas de enchufes, por ejemplo, programador). Interruptor termomagnético general de carga de luces (protege carga de luces, por ejemplo, iluminación caseta o invernadero).</p> |  | <p>Transformador 220 a 24V (se recomienda trabajar circuito de control en 24V según NCH Elec. 4/2003).</p> |  |
| <p>Relé térmico (protege electrobomba).</p> |  | <p>Armario metálico (mínimo 300x400x200 mm).</p> |  |
| <p>Regletas de conexión.</p> |  | <p>Luces piloto - llave selector (partida automática/manual).</p> |  |
| <p>Botonera de emergencia.</p> |  | <p>Toma a tierra.</p> |  |

Fuente: Elaboración propia.

3.9.6. 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 29 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 del país, donde ocurren temperaturas extremas y existe un alto riesgo de congelamiento de los elementos, se debe considerar en la caseta un revestimiento térmico interior, dejando algunas ranuras para la ventilación. En la zona central y centro sur, se sugiere privilegiar la ventilación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Caseta de riego sugerida para SCALL.

3.9.7 USO DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

Considerando el potencial solar de Chile, se recomienda el uso de sistemas fotovoltaicos asociados al riego. En primera instancia, se debe explorar la alternativa de considerar un sistema Ongrid, de no ser esto posible, sistemas Offgrid resultarían adecuados. 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, usualmente entre 1 a 1,5 kW de potencia. Además, al dimensionar el sistema, es importante considerar el consumo de energía del invernadero y su electrificación, así como el consumo energético de sistemas NFT y todas las cargas necesarias para la producción de los cultivos. Como aclaración, los sistemas de cultivo NFT son un tipo de cultivo hidropónico que tiene por característica distintiva la circulación continua o intermitente de una fina solución nutritiva a través de las raíces, que pasa por una serie de tubos de PVC con orificios.

Para detalles de diseño y dimensionamiento de estos sistemas fotovoltaicos, se recomienda consultar los siguientes instructivos:

- Manual para diseño e inspección de sistemas fotovoltaicos (CNR-Ministerio de Energía, 2022).
- Catálogo de proveedores fotovoltaicos (CNR-Ministerio de Energía, 2022).
- Guía de buenas y malas prácticas en sistemas fotovoltaicos aplicados al riego (CNR-Ministerio de Energía, 2020).

3.9.8. KIT DE REPARACIONES

En cada proyecto de riego, se recomienda considerar un "Kit de reparación", esto con el fin de que el agricultor tenga materiales básicos en caso de algún imprevisto menor en el sistema que no requiera la asesoría de un profesional. Estos elementos deben ser del mismo diámetro y medidas que el proyecto de riego y el SCALL.

Entre los elementos debe haber al menos:

- 10 Ganchos de soporte de canaleta
- 2 Unión de canaleta
- 2 Tapa de canaleta
- 20 Conectores polietileno - polietileno
- 20 Conectores gromet - polietileno
- 20 Gromet
- 20 Mini válvulas
- Línea de riego (100 m)
- 3 Unidades de teflón x 50m
- 6 Terminales HI
- 6 Codos
- Al menos 1 válvula de bola HI-HI
- 2 Unión americana
- 1 Válvula de compuerta
- 1 Malla de filtro
- 1 Sierra
- 1 Lija
- 1 Pegamento de PVC 240 cc

4 ASPECTOS DE INSTALACIÓN

A continuación, se entregan algunas recomendaciones genéricas que se debe considerar a la hora de instalar los SCALL. Aun así, se deben siempre seguir las recomendaciones de cada fabricante.

4.1. Canaletas y redes de conducción

Se debe determinar la ubicación de las bajadas, preferentemente en las esquinas del edificio. Las canaletas deben tener una pendiente mínima de 0,3%.

Para instalar soportes, se recomienda comenzar por la bajada cada 60 cm. En zonas de alto viento, se debería aumentar la frecuencia de ganchos.

La tubería de bajada de aguas usualmente es el último elemento por instalar en la conducción. Aquí se recomienda no pegar la bajada con el codo de bajada, de este modo el agricultor podrá desconectar el tubo de bajada y realizar mantenimientos y limpieza cuando corresponda. En la tubería de bajada, se recomienda instalar una abrazadera cada 2 metros.

4.2. Estanques verticales plásticos

Existen distintos tipos de fabricantes de estanques verticales, se recomienda siempre seguir las recomendaciones de cada fabricante para aumentar la vida útil de los sistemas. A continuación, se entregan algunas consideraciones genéricas.

BASE:

Requiere una superficie nivelada y firme, deseable con una base de concreto o grava compactada para estabilidad. Para estanques con volúmenes inferiores a 5.400 L, se pueden instalar sobre terreno con una capa de arena compactada. Si el terreno presenta agua residual o es propenso a humedecerse, debe colocarse sobre una base de cemento. Para estanques con volúmenes de 5.400 L en adelante, deben colocarse sobre un radier de hormigón con un espesor mínimo de 10 cm y malla ACMA. El espesor del radier debe ser calculado por un profesional en función al tipo de suelo. La base plana debe ser siempre mayor al diámetro del estanque, no debe quedar ninguna parte de la base del estanque expuesta o sin soporte. La base debe ser completamente limpia. Evitar piedras y desniveles que puedan deformar la base del estanque. En caso de zonas de vientos se deben colocar eslingas de sujeción cruzadas y sujetas a la base.

INSTALACIÓN:

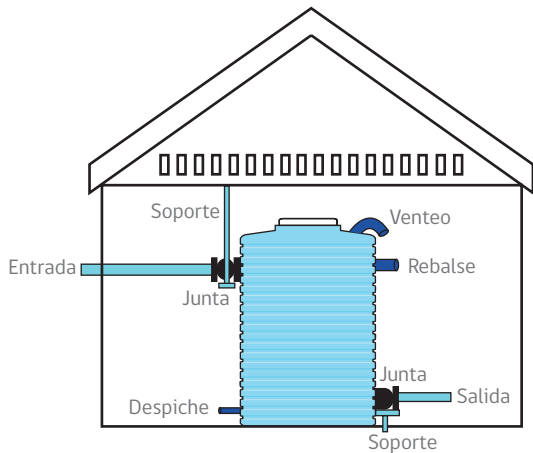
Considerar sistemas de anclaje en áreas con viento, acceso para mantenimiento y limpieza del sistema (Figura 31). Se debe considerar un rebalse del sistema, que tiene como objetivo evitar el sobrellenado del estanque, pudiendo colapsar. Se recomienda que el rebalse, en caso de entrada por presión sea doble de diámetro de la entrada. En caso de entrada gravitacional, sea un 25% por sobre el diámetro de entrada.

Se debe considerar un elemento de "venteo", que tiene como objetivo permitir el ingreso o salida de aire, de esta manera se evita el colapso del estanque en caso de un llenado o vaciado rápido.

Se debe proyectar una llave de vaciado, este se coloca en la parte inferior del estanque con el objetivo de permitir el vaciado completo en caso de contingencia o para su limpieza.

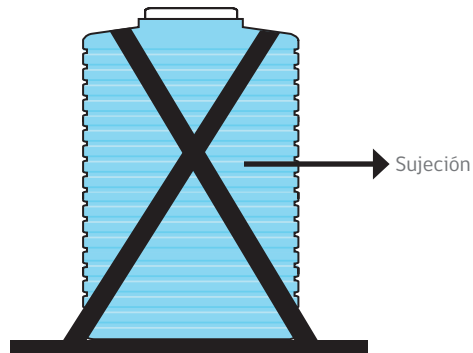
Se recomienda la consideración de juntas de expansión elastoméricas para conexiones en la alimentación y descarga. Las uniones entre los estanques y las líneas de alimentación o descarga deben ser flexibles, específicamente juntas de expansión elastoméricas de manera que puedan absorber las vibraciones, golpes de ariete y deformaciones propias del estanque en el proceso de llenado y vaciado (Figura 30).

En caso de zonas de vientos se deben colocar eslingas de sujeción cruzadas y sujetas a la base tal como muestra la Figura 31.



Fuente: Manual de instalación y mantenimiento estanques verticales Bioplastic.

Figura 30. Esquema de instalación estanque vertical.



Fuente: Manual de instalación y mantenimiento estanques verticales Bioplastic.

Figura 31. Esquema de instalación de estanque vertical en zonas ventosas.

4.3. Estanques tipo australianos

Existen distintos tipos de fabricantes de estanques australianos, se recomienda siempre seguir las recomendaciones de cada fabricante para aumentar la vida útil de los sistemas. A continuación, se entregan algunas consideraciones mínimas.

BASE:

Cimentación sólida requerida, con preparación específica para soportar el peso total del agua almacenada. Para una correcta instalación del estanque es necesario realizar un anillo de fundación, compuesto de hormigón armado, más un radier al interior. Por lo tanto, se recomienda proyectar el estanque sobre un suelo apto y de fácil acceso, y así contribuir a una correcta ejecución de las obras civiles.

COBERTURA:

Recomendada para proteger contra la evaporación y contaminantes. Se puede considerar un techo de lona, zinc, o bien malla sombreadora.

ESTRUCTURA:

Refuerzos estructurales para resistencia a cargas de viento y nieve.

4.4. Acumuladores excavados en suelo y revestidos con geomembrana

Al igual que los puntos anteriores, la instalación y EETT dependerá del fabricante y se deben seguir sus recomendaciones. A continuación, se entregan algunas normas genéricas.

Preparación del suelo y ubicación: La ubicación del acumulador debe decidirse después de un recorrido y análisis minucioso del terreno. Entre los principales factores que se deben considerar en su elección, se tienen:

- Cercanía de materiales aprovechables en la construcción del muro.
- Se debe elegir una de las partes más altas del predio y cercanas a techumbres con el objetivo de poner bajo riego gravitacional la mayor superficie posible.
- El volumen excavado debe utilizarse para construcción de los muros del acumulador, velando que la diferencia de cota entre el techo alimentador y el acumulador sea suficiente para permitir su llenado.
- En relación con los taludes admitidos, la Comisión Nacional de Riego, mediante RESOLUCIÓN EXENTA N° 727/2023, establece que para pequeños embalses de volumen disponible menor o igual a 1.000 m³ y con talud V:H 1:1,5, no se exigirán pruebas de infiltración ni estudios de mecánica de suelos, siempre que sea revestido con geomembrana, por lo que, considerando que típicamente en los SCALL los volúmenes acumulados no superan los 200 m³, se sugiere adoptar los criterios de la citada resolución.

REVESTIMIENTO:

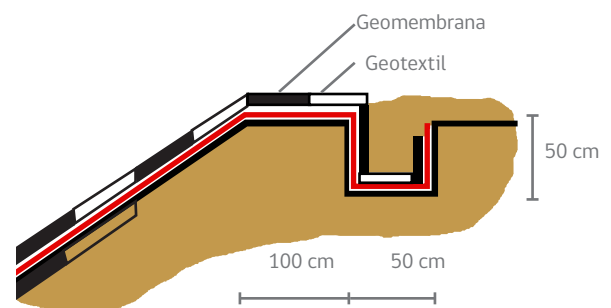
Geomembrana HDPE con protección UV e instalación de geotextil como capa protectora. Teniendo en cuenta la presión del agua del depósito, si la profundidad del agua es de aproximadamente 2 m, puede usar espesores de 0,75 mm o más para la prevención de filtraciones (este espesor es muy propenso a roturas). Si la profundidad del agua del depósito es de aproximadamente 4 m, puede usar 1 mm o más. Si la profundidad del agua del reservorio es de aproximadamente 8 m, se debe usar una geomembrana de 1,2 mm o más para evitar filtraciones (<https://es.mttvs.com/>).

VERTEDERO:

Se debe considerar un vertedero y ruta de conducción para que los posibles excedentes puedan evacuar el acumulador. Se recomienda realizar la verificación para los distintos caudales que se generen en función de la tormenta de diseño (intensidad máxima de lluvia) que se utilice para el diseño del SCALL. A modo de ejemplo, si se considera una intensidad de lluvia de 60 mm/h y un área de captación de 200 m², se podría generar un caudal instantáneo de 3,33 l/s. Luego, se puede comprobar que con una pendiente de 0,001 m/m una tubería de 110 mm resultaría adecuada como vertedero.

ANCLAJES:

El fabricante de geomembranas ALVATECH recomienda que se realice un anclaje en la coronación de los taludes en una zanja de dimensiones mínimas con el fin de no deteriorar la estabilidad del terreno. Esta zanja servirá también para el anclaje de los demás geosintéticos que componen el sistema de impermeabilización. Las dimensiones mínimas recomendadas de dicha zanja se muestran en la Figura 32.



Fuente: Catálogo geomembranas Alvatech.

Figura 32. Anclaje de geomembranas.

PROTECCIÓN:

Se debe considerar cerco perimetral, con malla enterrada al menos 30 cm, para evitar la entrada de roedores y otros animales, además se recomienda instalar una cuerda o una escalera de emergencia.

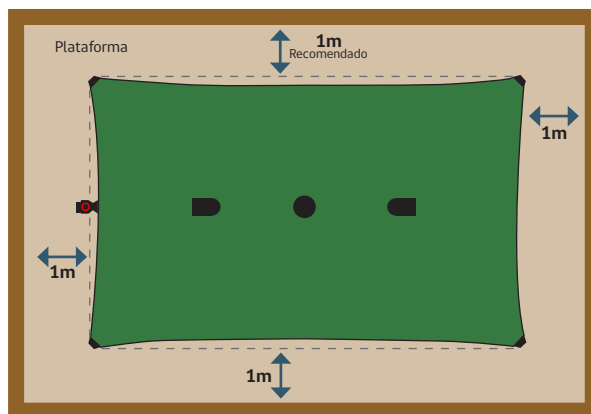
4.5. Cisternas flexibles

Estos reservorios son muy utilizados en la acumulación de aguas lluvia, debido a que pueden ser guardados y doblados en pequeños espacios, ya que su altura es baja se pueden utilizar asociados a techos de menor cota como superficie de captación, además, no existen pérdidas por evaporación, se pueden reparar en caso de cortes y son aptos para operar en bajas temperaturas. De todas formas, se debe atender a las especificaciones técnicas de instalación del fabricante.

INSTALACIÓN:

En superficies preparadas, libres de objetos punzantes, existe una posible necesidad de una base de geotextil. Citaf, uno de los principales fabricantes de cisternas flexibles, indica que se requiere una plataforma que soporte el peso del depósito sin hundirse ni erosionarse, durante toda la vida útil de la instalación, para esto se requiere una plataforma perfectamente plana, limpia y estable y en el caso de instalación sobre suelo impermeable, la plataforma debe estar drenada. Con un bajo volumen almacenado y fuertes vientos se corre el riesgo de la cisterna vuelque por lo que se sugiere considerar una fijación al momento de instalar. La Figura 33 muestra espaciamientos recomendados para la instalación de cisternas flexibles.

En zonas nevadas se corre el riesgo de que el peso de la nieve sobre la cisterna provoque que ésta se vacíe, lo que haría recomendable instalar la cisterna flexible bajo techo o bien, optar por otro método de acumulación. Sin embargo, se debe considerar también que es común en zonas donde existen temperaturas bajo cero, que el agua de la parte superior de la cisterna se congele y actúe como una cubierta sólida capaz de soportar cargas de la nieve.



Fuente: Catálogo CITAF.

Figura 33. Espaciamientos recomendados de instalación para cisterna flexible.

4.6. Estanques autosoportantes

Este tipo de estanques no posee estructuras metálicas de soporte, lo que provoca que adquiera una forma tipo "pera" a medida que este se llena. Incluyen bandas de flotación que evitan el vaciado del reservorio cuando este se rebalsa. Además, generalmente se incluye una cubierta que evita la penetración de luz solar directa, con el objetivo de que no proliferen algas y evitar suciedad del ambiente.

BASE:

Al igual que las cisternas flexibles requieren de una base nivelada, puede requerirse mejoramiento del suelo en áreas blandas.

INSTALACIÓN:

Diseñados para soportar sin estructuras externas; sin embargo, se debe considerar el impacto del viento.

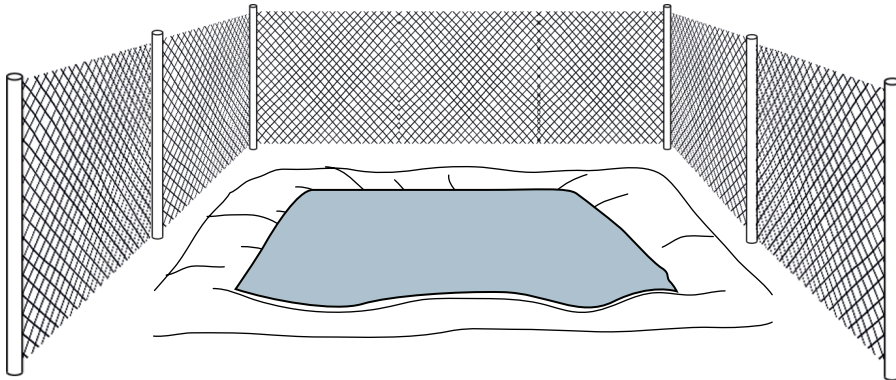
ACCESORIOS:

Incluyen sistemas de entrada, salida, sobrellenado y ventilación adecuados.

4.7. Aspectos generales de instalación

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. Una de las preocupaciones importantes en estos estanques es la posibilidad de que animales como conejos, perros, gatos, zorros, entre otros, puedan acceder al área del estanque, especialmente si está cubierto solo con una malla. Estos animales pueden caer al agua, lo que no solo representa un riesgo para ellos mismos, sino que también puede causar daños a la geomembrana, comprometiendo la integridad del estanque. Para prevenir tales incidentes, es altamente recomendable implementar un cerco perimetral alrededor del estanque enterrado. Este cerco debería ser lo suficientemente robusto y alto para disuadir la entrada de animales, así como también debería extenderse bajo

tierra para prevenir el acceso por excavación, una práctica común en animales como los conejos. Además, la malla que cubre el acumulador debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso accidental de un animal, en caso de que logre pasar el cerco perimetral (Figura 34).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Esquema ejemplo de acumulador cercado con malla protectora.

Por otra parte, los estanques verticales una vez llenos, pueden ejercer una presión considerable sobre el suelo debido a su peso. Si el suelo no está adecuadamente preparado para soportar esta carga, pueden surgir varios problemas que afectan tanto la estabilidad del estanque como la integridad de todo el sistema. Un suelo que no está suficientemente consolidado o que es demasiado blando puede ceder o hundirse bajo el peso del estanque lleno. Este hundimiento puede provocar no solo el desplazamiento o la inclinación del estanque, sino también la ruptura o el daño de las tuberías conectadas, lo que a su vez puede llevar a fugas y la pérdida de agua acumulada. 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 asegure la distribución uniforme del peso del estanque, previniendo el hundimiento o desplazamiento del suelo.

Finalmente, cuando se realiza la limpieza o el mantenimiento de los filtros, se requiere instalar una válvula de paso antes del filtro de riego con el fin de que si se requiere manipular para su limpieza o recambio no se alivie la tubería que se encuentra en presión por estar conectada aguas arriba directo al estanque. Esta pérdida de agua puede ser significativa, sobre todo si el estanque de acumulación está situado a una mayor altura, ya que la gravedad provoca un flujo constante y potencialmente grande de agua hacia abajo. Se sugiere instalar una válvula de paso antes del filtro, para así detener el flujo de agua desde el estanque cuando se ejecute la limpieza o mantenimiento.

5.1. Captación

Un error frecuente es utilizar superficies de captación donde en las cercanías existen árboles y/o elementos que pueden contaminar la acumulación de aguas lluvia. Se utilizan superficies que a menudo están expuestas a la acumulación de hojas, polvo y otros contaminantes, sin una selección cuidadosa, como la mostrada en la Figura 35. Un diseño 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, se debe buscar un equilibrio en el sistema de captación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Zona de captación interceptada por los árboles aportando contaminación al sistema.

5.2. Conducción

En relación con el diseño de la red de conducción hacia el acumulador, en ocasiones la tubería se instala a una altura muy baja o atravesando pasillos de edificaciones (Figura 36), lo que dificulta el libre desplazamiento de las personas.

Uno de los problemas más notorios observados en los sistemas de conducción asociados a los SCALL es la insuficiente densidad de las fijaciones de las canaletas. A pesar de que las especificaciones de los fabricantes indican que las fijaciones deberían colocarse cada 60 cm, en la práctica se encontraron separaciones de entre 1 a 1,5 metros en algunos casos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Tubería de conducción instalada a baja altura, sin la sujeción adecuada y sin protección contra el sol.

5.3. Acumulación

Uno de los errores más comunes es no realizar una compactación o radier antes de instalar los estanques. Es importante llevar a cabo una nivelación y compactación adecuadas para reducir el riesgo de volcadura y minimizar el hundimiento posterior. La Figura 37 muestra un ejemplo de estanque posicionado sobre suelo natural que ha sufrido hundimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Estanque instalado sin previa compactación o radier.

En el caso de las cisternas flexibles, estas requieren de una superficie nivelada. El instalar una cisterna flexible en una superficie con pendiente, provoca su desplazamiento en el sentido de la pendiente (Figura 38).

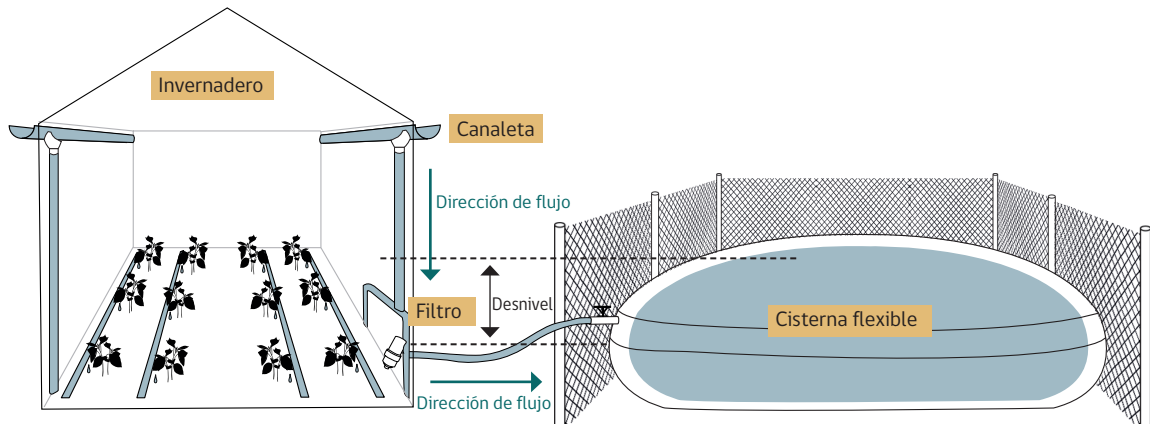


Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Cisterna flexible desplazada de su ubicación original.

Algunos estanques que cuentan con superficie libre de agua no cuentan con una cubierta protectora. Esto los hace propensos a ensuciarse rápidamente y favorece la proliferación de algas en el agua. Cuando están vacíos, se observa una capa de sedimentos de varios centímetros de espesor.

Se debe poner especial atención en el desnivel entre el acumulador y el elemento filtrante. Por ejemplo, en la Figura 39 se muestra una situación donde el nivel de llenado de la cisterna flexible es mayor al nivel donde se encuentra el elemento filtrante, por lo que se debe considerar una válvula de paso entre la entrada del estanque y el filtro, de manera de que permita manipularlo sin provocar su vaciamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Ejemplo de desnivel entre cisterna flexible con agua y ubicación del filtro de basuras ubicado junto al invernadero.

5.4. Riego

Los sistemas de riego que utilizan energía gravitacional presentan algunas falencias en su diseño, principalmente debido a la poca diferencia de cota entre la salida de agua del estanque y el sector a regar, donde por lo general no supera los 2 m; en consecuencia, los emisores no entregan el caudal proyectado presentando también problemas de uniformidad. Esta última depende de que los emisores operen con la presión adecuada como se explica en el apartado 3.7.2.

Las electrobombas asociadas a los SCALL suelen ser de baja potencia, que, si bien podría ser adecuada para la escala productiva, esta presenta algunas omisiones constructivas, por ejemplo, muchas cuentan con un radier de apoyo, pero esta no se encuentra debidamente anclada al piso lo que facilita la rotura de tuberías y accesorios por las vibraciones durante su operación.

Los cabezales de control suelen estar en casetas de malla ACMA que no superan la altura de los 70 cm, lo que dificulta el acceso y operación, además, este tipo de casetas no logran proteger los equipos y elementos contra el viento, lluvia, radiación solar y polvo (Figura 40). Estas casetas deben ser lo suficientemente amplias como para permitir el ingreso de una persona de pie y contar con el espacio necesario para albergar de manera segura y accesible todos los elementos del cabezal, como bombas, tableros y filtros (ver Figura 29).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Caseta de control sin el espacio mínimo para operar, mantener y proteger a los equipos.

6 DISEÑO DE INVERNADEROS

6.1. Tipo de invernaderos

Existen diferentes tipos de invernaderos, contruidos de diferentes materiales. En la Figura 41 se muestra los que habitualmente se utilizan en proyectos asociados a SCALL.



Invernadero tipo capilla



Invernadero tipo túnel

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Tipos de invernaderos comúnmente asociados a SCALL.

En la Tabla 25 se muestra un análisis comparativo entre los tipos de invernadero más utilizados en la pequeña agricultura, para que el diseñador seleccione el tipo que se adapta de mejor forma al proyecto.

Tabla 25. Análisis comparativo entre los invernaderos tipo túnel y capilla.

| Tipo de invernadero | Ventajas | Desventajas |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Túnel | <ul style="list-style-type: none"> Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido). Alta transmitancia de la luz solar. Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos. | <ul style="list-style-type: none"> Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica. Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano tamaño (lechuga, flores, frutilla, etc.). |
| Capilla | <ul style="list-style-type: none"> Construcción de mediana a baja complejidad. Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos. | <ul style="list-style-type: none"> Problemas de ventilación en invernaderos que favorecen la proliferación de microorganismos. A igual altura cenital o de la cumbre, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos. Mayor número de elementos que disminuyen la transmitancia (mayor sombreado). Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento del cultivo. |

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Consideraciones de diseño

6.2.1. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Para proyectos financiados por la CNR, las obras deben tener una vida útil de a lo menos 10 años posteriores a la recepción. Las obras de madera que tienen la ventaja de ser más económicas, pero la vida útil de los materiales es de a lo más 5 años, pueden ser presentadas siempre y cuando el agricultor se haga cargo de la reposición para que la estructura dure 10 años. Se recomienda considerar materiales de larga duración en la etapa de diseño, utilizando los más resistentes, tales como Metalcon y planchas de policarbonato alveolar.

La medida del espesor del policarbonato debe seleccionarse en función de la intensidad de la velocidad del viento, se recomienda un mínimo de 6 mm para zonas con baja velocidad y un máximo de 10 mm para zonas con alta velocidad del viento y/o zonas donde hay probabilidad de nevazones. Además, el policarbonato se debe instalar con tornillos hexagonales con golilla de neopreno y una golilla adicional para aumentar el área de contacto y lograr una buena sujeción del policarbonato. A mayor necesidad de sujeción, mayor debe ser el ancho de las golillas. El distanciamiento de los tornillos debe ser 20 cm tanto horizontal como vertical.

La Figura 42 (izquierda) muestra un invernadero de Metalcon revestido con polietileno y la Figura 42 (derecha) un invernadero de Metalcon revestido con planchas de policarbonato.



Metalcon y polietileno.



Metalcon y policarbonato.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Tipos de invernaderos más comúnmente utilizados en pequeña agricultura.

Se recomienda que al momento de construir el invernadero se considere cimientos de hormigón de 30 x 15 cm para evitar el ingreso de animales escarbando bajo el invernadero. En cuanto a las estructuras recomendadas, los invernaderos de perfiles de marcos de acero galvanizado del tipo "Metalcón" y "Vulcometal" son similares en su diseño a los de madera, con cerchas reticuladas con pilares, montantes y arriostramientos laterales de perfiles rígidos, permite fácil ampliaciones y modificaciones de incluso la arquitectura, pudiendo adosarle elementos típicos de la agricultura como maceteros o repisas. No tiene piezas especiales, y todos los materiales se encuentran en el mercado local.

Para el revestimiento de invernaderos, el policarbonato alveolar, se presenta como una opción confiable, está compuesto por múltiples paredes o alvéolos que crean una estructura celular similar a la de una colmena. Estos alvéolos pueden ser de diferentes formas y tamaños según el fabricante y las necesidades específicas del proyecto, permite que la luz solar penetre en el invernadero de manera uniforme, proporcionando la iluminación necesaria para el crecimiento de las plantas. Además, es resistente y fácil de cambiar en caso de daños.

6.2.2. SELECCIÓN DEL SITIO

El cultivo en invernadero se justifica cuando las condiciones de campo abierto no son favorables para la producción y existe una buena demanda comercial para la producción de cultivos en la localidad. Es fundamental elegir un lugar adecuado para instalar un invernadero, evitando terrenos con problemas de acumulación de agua y asegurándose de que el suelo tenga un buen drenaje y una textura intermedia. Esto garantizará que el cultivo alcance los rendimientos esperados.

El invernadero debe ubicarse en un área que reciba la mayor cantidad de luz solar directa posible durante el día. Además, es importante protegerlo de los vientos dominantes que podrían dañar la cubierta de plástico o policarbonato. En caso de exposición al viento, se pueden instalar cortinas cortavientos para proteger el invernadero y evitar que el aire frío afecte la temperatura interior, lo que podría perjudicar el crecimiento de las plantas.

Es crucial considerar los factores climáticos de la zona donde se desea establecer el proyecto de invernaderos y la adaptación del cultivo en cuestión. Aunque es posible controlar algunas condiciones ambientales, es importante tener en cuenta que cuanto menos energía y equipamiento se necesite para el desarrollo adecuado del potencial del cultivo, menor será el costo de producción y, por lo tanto, mayor será la utilidad para el productor.

6.2.3. DIMENSIONES

Se recomienda que la altura lateral del invernadero sea de al menos 2 metros. Esto facilitará las actividades en su interior y permitirá un fácil acceso para las personas. Se sugiere que la parte central y más alta del invernadero, conocida como cumbre, tenga una altura de entre 3 y 3,5 metros. Alturas mayores puede complicar las labores de mantenimiento, como el cambio de la cubierta de polietileno o policarbonato, y también puede aumentar la exposición al viento, lo que implica una mayor dificultad para conservar una temperatura adecuada dentro del invernadero.

En cuanto al ancho del invernadero, este se determinará en función de la pendiente adoptada para el techo y la altura total de la estructura. Se recomienda adoptar pendientes de techumbre de entre un 20% y un 30% para facilitar que las gotas de agua, producto de la condensación de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo, caigan hacia los lados y no sobre los cultivos, evitando así el desarrollo de enfermedades en las plantas.

El ancho del invernadero (AI) se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$AI=(Hc-HP)\cdot\frac{200}{P} \quad [20]$$

Siendo:

Hc: altura de la cumbre.

HP: altura de las paredes laterales del invernadero.

P: pendiente deseada (%).

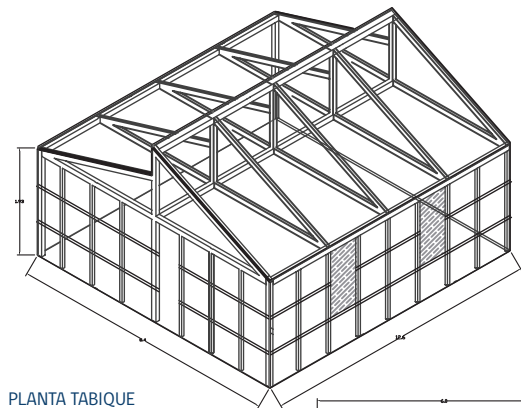
En el caso de la longitud del invernadero dependerá principalmente de la disponibilidad de espacio en el predio respectivo y de la superficie que se requiera cubrir.

Es importante considerar la separación mínima recomendada de 6 metros entre un invernadero y otras construcciones u obstáculos. Esto ayudará a evitar el efecto de sombreado y facilitará la entrada de aire al invernadero. Además, se debe evitar ubicarlo junto a la sombra de árboles muy altos o donde puedan llegar sus raíces y sufrir daños por desprendimiento de ramas.

En la Figura 43 se muestra una recomendación de dimensiones y especificaciones de construcción para un invernadero que puede ser considerado como guía para la construcción.

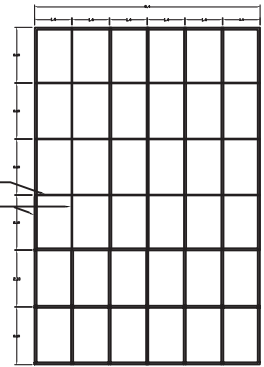
3D Invernadero Metalcon y policarbonato

PLANTA TECHO



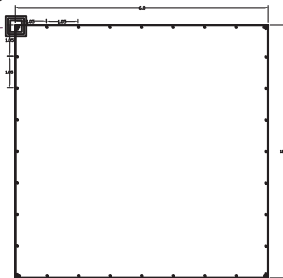
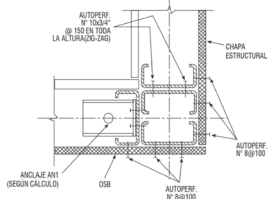
Metalcon estructural perfil omega 35x38x15x8 0,85mm

Cercha

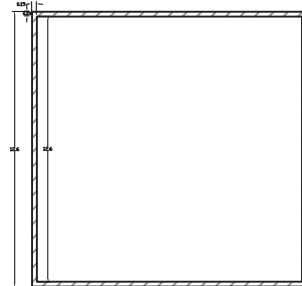


PLANTA TABIQUE

ENCUENTRO ESQUINA (L)

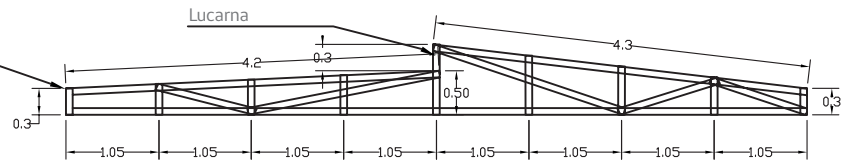


PLANTA CIMENTOS



FRONTAL CERCHA

Metalcon estructural perfil en u 2x3° 0,85mm

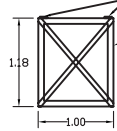


FRONTAL LUCARNA



LATERAL TABIQUE

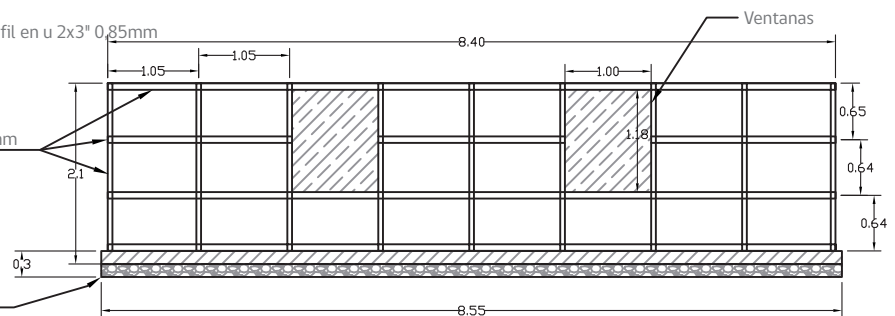
VENTANA



Ventana

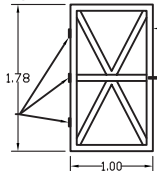
Metalcon estructural perfil en u 2x3° 0,85mm

Metalcon estructural perfil en u 2x3° 0,85mm



Cimiento hormigón h20 30cmx15cm

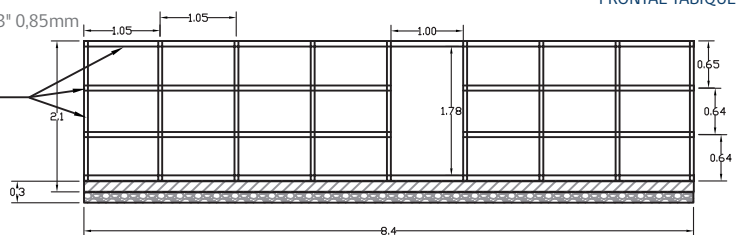
PUERTA



Metalcon estructural perfil en u 2x3° 0,85mm

Picaporte carcelero

Metalcon estructural perfil en u 2x3°



FRONTAL TABIQUE

Figura 43. Plano con ejemplo de diseño de invernadero de Metalcon y policarbonato alveolar.

Fuente: Elaboración propia.

LUZ:

Se aconseja ubicar el invernadero en un área que reciba una mayor cantidad de luz solar durante la mañana, ya que en este momento se requiere un aumento rápido de la temperatura. En zonas donde el exceso de radiación es un problema, se utilizan técnicas de sombreado como las lechadas de cal, que consisten en una mezcla de cal apagada (hidróxido de calcio y agua) que se aplica sobre la superficie exterior de los invernaderos. Otra alternativa es utilizar mallas como la sombreadora que ofrece resistencia a la transmisibilidad de la luz hacia el invernadero y existe otras alternativas como las pinturas reflectivas.

VIENTO:

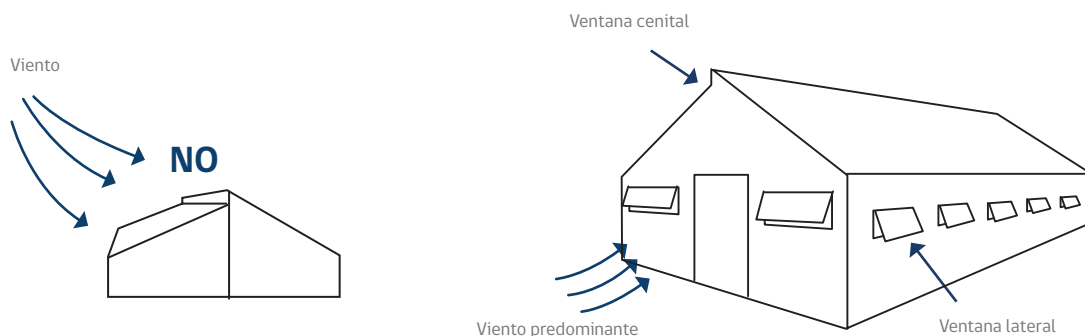
Se sugiere colocar el invernadero de modo que su lado más largo esté alineado con la dirección del viento predominante. De esta manera, se minimizará la exposición de la estructura a los vientos dominantes.

En zonas con temperaturas altas y bajas velocidades de viento, se recomienda orientar el invernadero de manera que la ventana lateral quede perpendicular a la dirección predominante del viento local y que la apertura de la ventana cenital esté en dirección opuesta a esa corriente de viento. Esto permite mejorar el flujo de ventilación dentro del invernadero (Figura 44 derecha).

Los invernaderos pueden ser vulnerables a daños causados por fuertes vientos, por lo que, en zonas de altas velocidades de viento se debe realizar un reforzamiento tanto de los techos como de las paredes laterales. En estas zonas ventosas es recomendable implementar materiales más resistentes y/o aumentar el número de soportes y vigas transversales para proporcionar mayor estabilidad a todo el invernadero. En aspectos de diseño, se debe considerar un "diseño aerodinámico", lo que puede implicar ajustar la orientación del invernadero o incorporar características de diseño, tales como perfiles redondeados que permitan que el viento fluya sobre la estructura más fácilmente. Otra medida sería la implementación de mallas o pantallas anti-viento alrededor del invernadero para disminuir la velocidad del viento antes de que impacte directamente en la estructura. Esto puede ser particularmente útil en zonas con vientos constantes y fuertes.

Si el viento es frío, el invernadero baja su temperatura más rápidamente; si no existe aislación térmica o calefactor, hay más posibilidades de que ocurra una inversión térmica. Evitar construir el invernadero perpendicular a la dirección de los vientos dominantes (Figura 44 derecha). La manera correcta es instalar el invernadero con su eje más largo paralelo a la dirección del viento predominante (Figura 44 izquierda). La lucarna debe orientarse en la misma dirección del viento, en caso contrario éste ingresará al invernadero provocando posibles daños (Figura 44).

Una estructura comúnmente utilizada para fines de ventilación son las lucarnas. Estas son aberturas o ventanas ubicadas en el techo del invernadero que se pueden abrir o cerrar según sea necesario para regular la ventilación y la temperatura dentro de la estructura. El tamaño y la cantidad de lucarnas dependerán del tamaño y la configuración del invernadero, así como de las condiciones climáticas locales. Las lucarnas deben estar equipadas con mecanismos de apertura y cierre que permitan controlar el flujo de aire. Estos mecanismos pueden ser manuales o automáticos, y es importante que sean fiables y fáciles de operar.



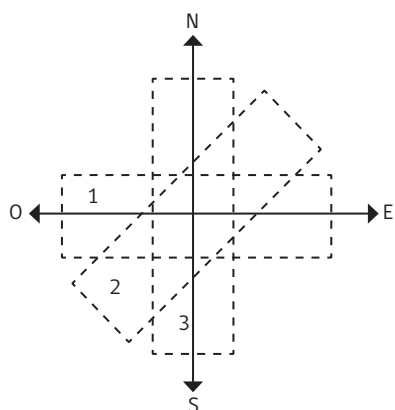
Fuente: Baechler & Alfaro.

Figura 44. Ubicación correcta e incorrecta de un invernadero según la dirección del viento.

Los invernaderos deben también ubicarse cerca de la vivienda del agricultor, con el fin de estar atento a cualquier emergencia que se presente durante el día o la noche. Deben ubicarse en zonas libres de niebla. Cuando existe mucha niebla, aparte de problemas por exceso de humedad, la luminosidad tiende a ser menor. También, deben ubicarse lejos de caminos o zonas polvorientas, ya que el polvo que se deposita y fija en las cubiertas de los invernaderos resta luminosidad.

Respecto a la orientación, la luz y el viento son los factores determinantes en la orientación del invernadero. La luminosidad es el factor más importante de tener en cuenta ya que el viento puede ser controlado o disminuido con cortinas corta vientos. En otoño-invierno (marzo a septiembre) la orientación este-oeste es aquella en la que el invernadero recibe mayor cantidad de luz (Figura 45, posición 1). Durante el verano, en que interesa mayor cantidad de luz en la mañana y en la tarde y menos luz al medio día, conviene la orientación norte-sur (Figura 45, posición 3). Para cultivos hortícolas en invernaderos plásticos, sin calefacción y realizados en otoño-invierno- primavera es recomendable la orientación este-oeste. Cuando por razones de viento o topografía haya que modificar esta orientación se debe tender hacia el suroeste nordeste ya que en esta forma recibe la máxima cantidad de luz en la mañana (Figura 45, posición 2). Si bien es cierto que en la tarde recibe menos luz esto no es mayor inconveniente ya que el invernadero ha recibido calor durante el día y las temperaturas verperinas son menores a las de la mañana.

En cultivos de plantas ornamentales y algunas especies de flores con invernaderos de cristal o poliéster y con calefacción es más recomendable la orientación norte-sur.



1. Invernadero plástico sin calefacción (otoño - invierno - primavera).
2. Alternativa utilizable por razones de viento o topografía.
3. Plantas ornamentales con invernadero de cristal o poliéster con calefacción.

Fuente: INIA.

Figura 45. Recomendaciones de orientación de un invernadero.

El invernadero se considera un sistema de cultivo intensivo que requiere una optimización del uso de la superficie disponible. Una de las principales pérdidas de espacio se produce debido a los caminos necesarios para la circulación dentro del invernadero. El ancho de estos caminos suele depender de las capacidades físicas del operador. En casos donde el operador sea de edad avanzada o tenga limitaciones físicas, se recomienda dejar un ancho de camino entre 50 y 60 cm. Por otro lado, si el operador se encuentra en buenas condiciones físicas, se sugiere un ancho de camino más estrecho, entre 25 y 35 cm. También se deben dejar espacios para el desplazamiento en las cabeceras del invernadero.

En los SCALL donde los recursos hídricos son limitados, se busca que la agricultura sea lo más eficiente posible, es decir, producción máxima en limitado espacio y con limitada cantidad de agua. Por esto, se deben priorizar sistemas eficientes y de bajo consumo hídrico, como por ejemplo sistemas NFT. Si bien, este tipo de sistemas podría requerir una menor cantidad de agua, requieren mayor cantidad de energía debido a la recirculación necesaria, la que podría ser suplida por los sistemas ERNC que se asocian al SCALL. Existen disposiciones horizontales y verticales, pero mediante la disposición de cultivo vertical, se puede optimizar la superficie de uso de los invernaderos, como se muestra en las Figuras 46.



Fuente: www.hydroponic.com.

Figura 46. a) Cultivo horizontal para la producción de lechuga en sistema NFT. b) Cultivo vertical para la producción de lechuga en sistema NFT.

Según lo expuesto por INIA en 2023, comúnmente en los invernaderos se suele cultivar una cantidad excesiva de hortalizas, lo que implica obtener plantas de menor calidad. En consecuencia, se presenta una sugerencia de densidad de plantación para las principales hortalizas cultivadas en invernadero (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Densidad de plantación sugerida para hortalizas en invernadero.

| Especie | Distancia entre hilera (cm) | Distancia sobre hilera (cm) | Nº de plantas por m ² |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Acelga | 34-40 | 15-25 | 12-17 |
| Albahaca | 35 | 20-25 | 11-14 |
| Lechuga | 30-35 | 30 | 10-11 |
| Pepino | 70 | 40-50 | 3-4 |
| Espinaca | 30-35 | 5-10 | 29-67 |
| Tomate | 70 | 50 | 3 |
| Poroto verde | 70 | 20 | 7 |
| Pimiento | 70 | 40 | 4 |
| Ajı | 70 | 40 | 4 |

Fuente: INIA.

Ahora bien, como los invernaderos son generalmente superficies pequeñas, lo que usualmente se realiza para maximizar la productividad por unidad de superficie es la rotación de cultivos. Por lo que a continuación en la Figura 47, a modo de ejemplo se propone la producción de cuatro especies de cultivos hortícolas, las cuales están incorporados dentro de un programa de rotación (INIA, 2022). Los cultivos propuestos, por lo general de alta demanda, son las siguientes especies hortícolas:

- Tomate
- Lechuga
- Pimiento
- Pepino

| AÑO 1 | | AÑO 2 | | AÑO 3 | | AÑO 4 | |
|----------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|----------|
| Pepino | Tomate | Pimiento | Pepino | Lechuga | Pimiento | Tomate | Lechuga |
| Pimiento | Lechuga | Lechuga | Tomate | Tomate | Pepino | Pepino | Pimiento |

Fuente: INIA.

Figura 47. Esquema de rotación de cultivos.

6.2.4. CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

La temperatura es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las plantas. Por eso, una de las principales ventajas de los invernaderos es la posibilidad de crear las condiciones climáticas que más acomoda a los cultivos, previniendo los daños por bajas temperaturas. En áreas propensas a heladas, se aconseja contar con algún sistema de calefacción artificial. También se recomienda el uso de materiales térmicamente reforzados o la instalación de una doble cubierta. Por lo general, las temperaturas mínimas (que suelen ser las temperaturas nocturnas), son críticas y difíciles de modificar para el invernadero de forma autónoma, a diferencia de las temperaturas diurnas, que pueden ajustarse a medida que aumenta la temperatura durante el día.

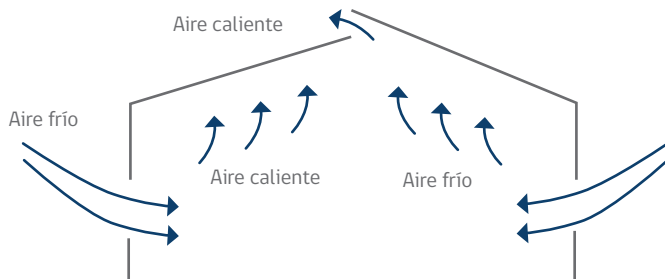
Todos los cultivos tienen un rango de temperatura óptimo para su crecimiento. Por debajo de este rango, el proceso necesario para el crecimiento se detiene, mientras que, bajo temperaturas muy altas o extremas, las enzimas se vuelven inactivas, lo que interrumpe los procesos necesarios para el desarrollo de la planta. Por lo tanto, se recomienda instalar al menos un termómetro de máxima/mínima en el invernadero para monitorear las fluctuaciones de temperatura y así activar los mecanismos de ventilación o calefacción según sea necesario.

Por otra parte, la humedad atmosférica es crucial ya que regula la mayoría de las actividades metabólicas y de fotosíntesis de las plantas. Se ha observado que un rango de humedad relativa entre el 20% y el 70% es óptimo para el crecimiento. Para monitorear este rango de humedad en el invernadero, es necesario incluir al menos un higrómetro. Esto permitirá al agricultor activar los mecanismos de intervención cuando los valores de humedad relativa estén fuera del rango óptimo mencionado anteriormente.

6.2.5. VENTILACIÓN

La ventilación es esencial para el adecuado manejo de un invernadero, ya que ayuda a regular la temperatura, la humedad y favorece la renovación del dióxido de carbono dentro del mismo. Por lo tanto, es importante que el invernadero cuente con una superficie adecuada para la ventilación (Figura 48).

En áreas con poco viento, donde la ventilación del invernadero podría ser difícil, se recomienda el uso de un sistema de ventilación cenital. Este sistema implica la colocación de ventanas en la parte superior del techo para crear un efecto de tiro natural. Esto significa que no se necesita la acción del viento para renovar el aire, ya que el aire caliente tiende a acumularse en la parte superior del invernadero y, al abrir las ventanas, se libera de forma natural. Como resultado, se crea una corriente de aire fresco desde las aberturas inferiores para ocupar el lugar del aire caliente que sale. Con este sistema, simplemente abriendo las lucarnas y las puertas o ventanas laterales, se logra una renovación constante del aire dentro del invernadero, incluso en días con poco viento. El período y tiempo de ventilación es variable y estará determinado por el tipo de cultivo, la época del año y la información entregada por los termómetros e higrómetros.



Fuente: INIA.

Figura 48. Movimiento de aire al interior del invernadero.

A continuación, se entregan algunas recomendaciones que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un SCALL entre las regiones de O'Higgins y Magallanes.

| | Captación | Conducción | Acumulación | Riego | invernadero |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O'Higgins | Las lluvias son escasas en esta región por tato, es recomendable utilizar todo el potencial que tiene el agricultor para captar agua de lluvia a través de las techumbres existentes en sus predios. Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción para canaletas a lo menos a 60 cm, además la instalación de las tuberías de conducción se debe realizar a una altura adecuada que no obstaculice el paso. | Aplican todos los sistemas de acumulación. Construcción de radiar para evitar roturas de tuberías al hundirse el acumulador por el peso del agua. | Asociar a riego tecnificado para maximizar la eficiencia en el uso del agua. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación para ello considerar lucarnas en el diseño. |
| Maule | Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción a lo menos 60 cm, además de considerar filtro en las tuberías de conducción. | Aplican todos los sistemas de acumulación, pero en los de superficie libre se debe considerar una protección contra la evaporación, como mallas sombreadoras. | Lineamientos generales y asociar a riego tecnificado para maximizar la eficiencia en el uso del agua. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación. |
| Ñuble | Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción a lo menos 60 cm. Aumentar frecuencias de la sujeción en zonas costeras de altas velocidades de viento. | Aplican todos los sistemas de acumulación. | Aplican todos los sistemas de acumulación, pero en los de superficie libre se debe considerar una protección contra la evaporación, como mallas sombreadoras. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación, para ello considerar lucarnas en el diseño. |
| Biobío | Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción a lo menos 60 cm. Aumentar frecuencias en zonas costeras de altas velocidades de viento. | Aplican todos los sistemas de acumulación. | Lineamientos generales. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación. |
| La Araucanía | Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción a lo menos 60 cm. Aumentar frecuencias en zonas costeras de altas velocidades de viento. | Aplican todos los sistemas de acumulación. | Lineamientos generales, implementación de automatización y protección al sistema de bombeo. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación y estructuras mas resistentes que la madera. |
| Los Ríos | Considerar cargas de nieve en zonas cordilleranas. | Ganchos de sujeción a lo menos 60 cm. Aumentar frecuencias en zonas costeras de altas velocidades de viento. | Aplican todos los sistemas de acumulación. | Lineamientos generales. | Lineamientos generales. Privilegiar ventilación. |
| Los Lagos | Considerar cargas de nieve en el extremo sur de la región. Si la superficie de captación es el invernadero, considerar cargas en diseño estructural. Si posee superficie autocaptante, considerar cargas y daños que podría sufrir cubierta protectora. | Desde el extremo sur de la región, donde existen altas velocidades de viento considerar ganchos de sujeción a lo menos 40 cm. | Estanques verticales deben evitarse en zonas de alto viento. Estanques australianos pueden aumentar sus costos en estructuras robustas que soporten altas cargas de nieve. | Desde el extremo sur de la región, donde las temperaturas están por debajo de los 0°C, considerar revestimiento de caseta y componentes hidráulicos expuestos. | Considerar policarbonato alveolar de mayor espesor (8 mm) sobre todo en zonas de altas velocidades de viento. Considerar también golillas de mayor tamaño. Aumentar frecuencia de tornillos. |
| Aysén | Considerar cargas de nieve Si la superficie de captación es el invernadero, considerar cargas en diseño estructural. Si posee superficie autocaptante, considerar cargas y daños que podría sufrir cubierta protectora. | Ganchos de sujeción a lo menos 40 cm. | Estanques verticales: deben evitarse en zonas de alto viento. Estanques australianos: pueden aumentar sus costos en estructuras robustas que soporten altas cargas de nieve. Estanques enterrados en geomembrana: Evitar su uso en zonas de nieve o temperaturas bajo cero. | Donde las temperaturas están por debajo de los 0°C, considerar revestimiento de caseta y componentes hidráulicos expuestos. | Considerar policarbonato alveolar de mayor espesor (8 mm) sobre todo en zonas de altas velocidades de viento. Considerar también golillas de mayor tamaño. Aumentar frecuencia de tornillos auto perforantes. |
| Magallanes | Considerar cargas de nieve Si la superficie de captación es el invernadero, considerar cargas en diseño estructural. Si posee superficie autocaptante, considerar cargas y daños que podría sufrir cubierta protectora. | Ganchos de sujeción a lo menos 40 cm. | Estanques verticales: deben evitarse en zonas de alto viento. Estanques australianos: pueden aumentar sus costos en estructuras robustas que soporten altas cargas de nieve. Estanques enterrados en geomembrana: evitar su uso en zonas de nieve o temperaturas. | Donde las temperaturas están por debajo de los 0°C, considerar revestimiento de caseta y componentes hidráulicos expuestos. | Considerar policarbonato alveolar de mayor espesor (8 mm) sobre todo en zonas de altas velocidades de viento. Considerar también golillas de mayor tamaño. Aumentar frecuencia de tornillos auto perforantes." |

8.1. Evacuación de primeras aguas

Durante la primera lluvia se recomienda dejar escurrir el agua libremente por los techos sin colectarla por al menos un periodo de 30 minutos, con el fin de lavar la superficie de captación, el sistema de canaletas y conducción, luego de transcurrido ese tiempo se puede conectar al sistema de acumulación.

Para el desvío de primeras aguas los dispositivos utilizados funcionan automáticamente para desviar un volumen inicial de agua recolectada, que es el más propenso a contener contaminantes, lejos del sistema de almacenamiento principal. El funcionamiento de estos dispositivos suele basarse en un mecanismo de válvula o un sistema de desbordamiento. Al inicio de una lluvia, el dispositivo se activa para captar un volumen predeterminado de agua, que corresponde a las primeras aguas. Una vez que se ha recogido este volumen inicial, el dispositivo cambia automáticamente para permitir que el agua subsiguiente fluya hacia el tanque de almacenamiento. Este volumen inicial se desecha, evitando así que los contaminantes se mezclen con el suministro de agua más limpio.

8.2. Limpieza de sistemas

8.2.1. ÁREA DE CAPTACIÓN

- Antes del inicio de la temporada se recomienda realizar una limpieza de techos con el fin de eliminar hojas, residuos de animales, entre otros y así tener menos contaminación en las primeras aguas.
- Eliminar ramas de árboles que crezcan por encima y cerca del techo para evitar la obstrucción de los sistemas de conducción.

8.2.2. LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

- Limpiar, acomodar canaletas y reparar rupturas o fugas en el sistema de conducción, reemplazar ganchos de sujeción cuando sea necesario.
- Limpiar filtros instalados en la línea de conducción, que en general retienen partículas de gran tamaño.
- Si no se usa PVC de aguas lluvias, se puede utilizar PVC sanitario o hidráulico y se deben pintar cada vez que se requiera para mitigar los daños por el sol.
- Abrir válvulas de bola cuando exista el riesgo de congelamiento, para evitar que se quiebren debido a la expansión del hielo

8.2.3. SISTEMAS DE ACUMULACIÓN

- Limpieza interior, que contempla retiro de sólidos y lavado de paredes.
- Detectar posibles fugas a reparar.
- En el caso de las cisternas flexibles se debe evitar la carga de nieve sobre la cisterna, ya que el acumulador se puede vaciar.

8.2.4. SISTEMA DE RIEGO

- Limpieza de equipo en general y verificar estado de los conductores eléctricos.
- Limpieza de polvo y suciedad del tablero de la bomba, ya que al absorber humedad puede provocar daños eléctricos. Se recomienda, también, verificar voltajes y apriete de las conexiones.
- Verificar que no existan fugas en la succión y en la descarga del equipo de bombeo.
- Verificación del equipo de bombeo, rodamientos y limpieza de contactores.
- Verificar las líneas de riego estén óptimas condiciones, sin fugas ni con emisores taponeados.
- Comprobar el estado de válvulas ventosas y filtros.
- Abrir válvulas de bola cuando exista el riesgo de congelamiento, para evitar que se quiebren debido a la expansión del hielo.

8.3. Mantenión de filtros

FILTROS DE CONDUCCIÓN DE AGUAS LLUVIAS:

Los requisitos de mantenimiento varían según el tipo de filtros utilizados en el sistema SCALL. Los filtros que automáticamente desvían los desechos generalmente requieren poco mantenimiento. Sin embargo, se debe realizar periódicamente una inspección para asegurar que estén funcionando correctamente y que no se esté acumulando ningún residuo. Los filtros tipo cesta que acumulan desechos requerirán un mantenimiento frecuente y continuo.

La acumulación de desechos en los filtros no solo reduce el agua de lluvia recolectada, sino que también puede descomponerse, generando olores desagradables y otros problemas de calidad del agua en los estanques. La tasa de reemplazo y reparación necesaria para prefiltros y sus pantallas dependerá de los materiales utilizados en su construcción. Se debe inspeccionar periódicamente el estado de los filtros y reemplazarlos si están dañados. Es crucial mantener la información del fabricante en el lugar para proporcionar instrucciones continuas sobre la operación, mantenimiento y reparación de los dispositivos de filtro.

FILTROS DE RIEGO:

- **De malla:** Para la mantención de filtros de malla, dado que generalmente en estos proyectos son de limpieza manual, se debe limpiar con agua a presión desde afuera hacia adentro y limpiar con una escobilla el interior de la malla, para esto es ideal un cepillo de dientes.
- **De anillas:** Se debe abrir y extraer el cuerpo filtrante, separar las anillas para limpiar con agua a presión y una escobilla el espacio entre los anillos.

Finalmente, independiente del tipo de filtro, se debe inspeccionar que los elementos filtrantes se encuentren en buenas condiciones, y mantengan una integridad estructural que garantice su capacidad filtrante, es decir, que la malla o anillas y la estructura que las sostiene no se encuentren rotas.

¿Cuál es la importancia de la selección de superficies de captación en los sistemas SCALL?

La selección de superficies de captación es crucial ya que afecta directamente la eficiencia en la recolección de agua de lluvia. Es necesario elegir superficies que no estén expuestas a contaminación por hojas, polvo, u otros contaminantes. Esto maximiza el rendimiento del sistema y reduce la necesidad de mantenimiento (consultar sección 2.1).

¿Cómo influye la inclinación del terreno en el diseño de los sistemas de conducción hacia el acumulador?

La inclinación del terreno es fundamental para asegurar el flujo adecuado del agua hacia el acumulador. Tener una pendiente adecuada facilita la conducción por gravedad, mientras que pendientes muy bajas o mal diseñadas pueden llevar a una acumulación de agua estancada o dificultades en el flujo contribuyendo a estancamiento por sedimentación (consultar sección 5.2).

¿Qué materiales son recomendados para la construcción de SCALL e invernaderos en zonas con alta velocidad de viento o nevazones?

En zonas de alta velocidad de viento o alta carga de nieve, se recomienda el uso de policarbonato alveolar para los invernaderos, con un espesor mínimo de 6 mm para baja velocidad de viento y hasta 10 mm para zonas con alta velocidad y/o alta carga de nieve. Además, en estas zonas las estructuras soportantes se sugiere que sean de Metalcon o Vulcometal debido a su durabilidad y resistencia (consultar sección 6.2.1).

¿Cómo debe diseñarse un estanque de acumulación para prevenir el hundimiento?

Los estanques verticales deben colocarse sobre bases niveladas y compactadas. Para volúmenes mayores, se recomienda el uso de radier de hormigón con malla de acero. Esto asegura la estabilidad del estanque y previene el hundimiento debido al peso del agua (consultar sección 4.2).

¿Cómo debe planificarse el acceso para mantenimiento y limpieza del sistema SCALL?

Se debe planificar un acceso adecuado para el mantenimiento de las canaletas y tuberías, con sistemas que permitan desconectar los tubos de bajada para facilitar la limpieza (consultar sección 8.2).

¿Cuáles son los principales errores en la selección de superficies de captación?

Uno de los errores más comunes es elegir superficies de captación cercanas a árboles, lo que lleva a la acumulación de hojas y contaminantes que reducen la eficiencia del sistema y aumentan la necesidad de mantenimiento (consultar sección 5.1).

¿Qué problemas se pueden presentar al no considerar un sistema de rebalse adecuado?

La falta de un sistema de rebalse adecuado puede causar el sobrellenado del estanque, lo que podría llevar a su colapso o al daño de las estructuras circundantes (consultar sección 4.2).

¿Cómo se debe diseñar un SCALL en regiones con temperaturas bajo cero?

Se recomienda el uso de materiales resistentes a las bajas temperaturas, como cisternas flexibles que pueden resistir el congelamiento y el uso de revestimientos térmicos en las casetas que albergan los sistemas de bombeo (consultar sección 6.2.1).

¿Cómo afecta la acumulación de hojas y polvo al rendimiento de un SCALL?

La acumulación de hojas y polvo puede reducir la cantidad de agua recolectada y aumentar la necesidad de limpieza frecuente. Además, puede afectar la calidad del agua almacenada al introducir contaminantes en el sistema (consultar sección 8.2.1).

¿Cuánta agua puedo recolectar con un SCALL en un año típico?

La cantidad de agua recolectada depende del área de captación y la precipitación anual. Se calcula multiplicando el área de captación (m²), la precipitación media anual (mm), y un coeficiente de escurrimiento (consultar sección: 3.2.4).

¿Cuáles son los requisitos de mantenimiento de los filtros en un SCALL?

Los filtros de recolección deben inspeccionarse regularmente y limpiarse cuando sea necesario, especialmente si son de malla o tipo canasta. Esto evitará la obstrucción y asegurará la calidad del agua (consultar sección 8.3).

¿Es posible integrar un sistema de energía renovable para operar un SCALL?

Sí, los sistemas SCALL pueden complementarse con paneles solares fotovoltaicos para operar bombas de agua o sistemas de riego automatizados. Esto es especialmente útil en áreas rurales sin acceso a la red eléctrica (consultar sección 3.9.7).

¿Cómo puedo evitar la proliferación de algas en el agua almacenada?

Para evitar la proliferación de algas, se recomienda utilizar cubiertas opacas o de malla sombreadora sobre los estanques de acumulación para reducir la exposición a la luz solar (consultar sección 4.4).

¿Qué consideraciones debo tener en cuenta para instalar un sistema de riego con agua de lluvia?

Es importante dimensionar correctamente las líneas de riego, el caudal de los emisores y la capacidad del acumulador para garantizar un riego eficiente, especialmente si se usan sistemas de microriego como el goteo (consultar sección 3.8).

10 REFERENCIAS

- Altavech, S.f. Catálogo de geomembranas Altavech. < <https://sotrafageo.com/wp-content/uploads/2020/03/Cata%CC%81logo-GEOMEMBRANAS-ALVATECH-ESP.pdf>>.
- Cántaro Azul. 2022. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en la localidad de Canolal. < <https://www.cantaroazul.org/post/sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-scall-en-la-localidad-de-canolal-chenalh%C3%B3>>.
- Comisión Nacional de Riego (CNR). 2018. Manual De Usuario Sistema Ley 18.450 Módulo de Georreferenciación. <https://www.cnr.gob.cl/?mdocs-file=2023>.
- Comisión Nacional de Riego (CNR). S. f. Rango de valores de Kc de Cultivos. Chile. < <https://www.cnr.gob.cl/mdocs-posts/dt-05-rangos-de-valores-de-kc-ex-at-13/>> .
- CRHIAM, 2023. Sistema de cosechas de aguas lluvia, manual educativo y de mantenimiento. Pp:19. <<https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/02/Manual-Cosecha-de-Aguas-Lluvia.pdf>>. Concepción, Chile.
- INIA, 2022. Utilización de una unidad de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias. Región de O'Higgins, Chile.
- INIA, 2023. Producción de hortalizas de primavera/verano bajo invernadero en los módulos de cosecha y aprovechamiento aguas lluvia. Temuco, Chile.
- INIA. 1997. Ubicación y Manejo de un Invernadero en Magallanes. Pp 3-4. Punta Arenas, Chile.
- Salinas, A.; Rodríguez, R.; Morales, D. 2010. Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización. Nicoya: Universidad Nacional. Costa Rica.
- Tigre, S.f. Ficha Técnica Aquapluv. < https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/tigre.cl/files/produtos/catalogos/ficha_tecnica_aquapluv.pdf >. Chile.
- Vinilit. S.f. Canaletas de Techo P31 UV Canaletas y Accesorios. < https://catalogoarquitectura.s3.amazonaws.com/media/post_file/Ficha-Canaleta-Techo-P31_648d81b8-01ac-4a2d-885f-ef61f92a3320.pdf>. Chile.
- Wicharuck, S., Khongdee, N., Pripanakul, T., Whangchai, N., Pimpimol, T. y Chaichana, C. 2023. Vertical farming: A potential farming practice for lettuce production. Chi jour agri research. Chillán, Chile.
- Zambrano, M., Marinao, R. y Saldivia, M. 2022. Mawün v2.0 Explorador de Precipitaciones. <<https://www.cr2.cl/mawun-explorador-de-precipitaciones/tutorial/>>. Chile.



**Mejor Riego
para Chile**

Manual de diseño, operación y mantención de sistemas de captación de aguas lluvias.

Comisión Nacional de Riego
Av. Libertador Bernardo O'Higgins #1449
Torre 1, piso 4 - Santiago Downtown
Región Metropolitana
F: 2 2425 7990
www.cnr.gob.cl

