

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

TÉCNICAS DE CAPTACIÓN, ACUMULACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS



Editor:
Jorge Carrasco Jiménez

TÉCNICAS DE CAPTACIÓN, ACUMULACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS



Editor:

Jorge Carrasco Jiménez

INIA, Rayentué
Rengo, Chile, 2016

Esta publicación fue financiada por el programa de trabajo “Proyectos sustentables con enfoque en gestión hídrica, para las regiones de O’Higgins y del Maule”, de la Subsecretaría de Agricultura, Ministerio de Agricultura.

Editor:

Jorge Carrasco Jiménez,
Dr. Ing. Agrónomo, INIA Rayentué.

Director Responsable:

Nilo Covacevich C., Ing. Agr. Ph.D.
Director Regional INIA Rayentué.

Boletín INIA N° 321

Cita bibliográfica correcta:

Carrasco, J., (ed.) 2016. Técnicas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias. Boletín INIA N° 321. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Rayentué. Rengo, Chile. 184p.

© 2016, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación Rayentué. Avenida Salamanca s/n, km 105, Ruta 5 Sur, Los Choapiños, Rengo. Región de O’Higgins. Teléfono (72) 2521 686. Casilla postal 13, Rengo.

ISSN 0717-4829

Autorizada la reproducción parcial citando la fuente y/o autores

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V.
Impresión: Gráfica Andes S.A.

Cantidad de ejemplares: 500

Rengo, Chile, 2016.

LISTADO DE AUTORES

David Mora López

Ingeniero Agrónomo
INIA-Rayentué

Hamil Uribe Cifuentes

Ing. Civil Agrícola Mg. Dr.
INIA-Quilamapu

Néstor Jiménez Silva

Ingeniero en Construcción
Consultor Externo

Luis Silva Rubio

Técnico en Administración
de Predios Agrícola
INIA-Rayentué

Jorge Carrasco Jiménez

Dr. Ingeniero Agrónomo
INIA-Rayentué

Patricio Abarca Reyes

Ingeniero Agrónomo M.Cs
INIA-Rayentué

Cristian Aguirre Aguilera

Ing. Agrónomo
INIA-Rayentué

José Olgúin Rubio

Técnico Agrícola
INIA-Rayentué

Virginia Carter Gamberine

Geógrafo
Field Project Coordinator ONG
FogQuest: sustainable and
Water Solutions

Jorge Riquelme Sanhueza

Dr. Ingeniero Agrónomo
INIA-Raihuén

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), agradece a todos los que de una u otra forma colaboraron y permitieron sacar adelante el programa de trabajo “Proyectos sustentables con enfoque en gestión hídrica en las Regiones de O’Higgins y del Maule”, financiado por la Subsecretaría de Agricultura. Se agradece en particular:

- Al Gobierno Regional de O’Higgins, porque a través del proyecto FIC-R 2011 “Desarrollo de técnicas de reciclaje y reutilización de las aguas lluvias cosechadas, para cultivos en invernadero en la Región de O’Higgins”, permitió desarrollar las bases de las distintas técnicas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias presentadas en este documento.
- A los 400 productores de las regiones de O’Higgins y Del Maule, que facilitaron parte de sus predios, para la construcción e instalación de unidades de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias.
- A la SEREMI de Agricultura de la Región de O’Higgins, por su apoyo en la coordinación de actividades con los servicios del agro y con los productores de la Región de O’Higgins.
- A INDAP, por su apoyo y respaldo permanente para conseguir los objetivos del proyecto, y por contribuir al aumento del número de unidades de “cosecha de aguas lluvias” en las comunas del secano de la Región de O’Higgins.
- A los profesionales y técnicos de los distintos PRODESAL, de las comunas donde se desarrolló el proyecto.
- A los profesionales de la Subsecretaría de Agricultura, los cuales han participado en la supervisión y revisión de las actividades del proyecto. En especial a la gestión y dedicación del Ingeniero Comercial, Sr. Carlos Pavón Tabilo.

PRÓLOGO

En este documento, se recopila la información, antecedentes técnicos y económicos de técnicas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, generadas en el ámbito del programa de trabajo entre INIA y la Subsecretaría de Agricultura, “Proyectos sustentables con énfasis en gestión hídrica, para las regiones de O`Higgins y del Maule”. También se entrega un conjunto de conceptos, experiencias, y sugerencias prácticas que puedan ser de utilidad al momento de evaluar y ejecutar acciones en beneficio del mejoramiento de la captación, acumulación, y aprovechamiento de las aguas lluvias, para la agricultura familiar campesina del secano.

Con este boletín técnico no se pretende, bajo ninguna circunstancia, un tratado sobre el uso de las aguas lluvias en sistemas productivos para áreas de secano, lo cual está lejos de ser una preocupación fundamental de los autores. Tan sólo se pretende entregar una guía que permita a los técnicos y agricultores, elaborar propuestas conjuntas que permitan coleccionar, acumular, y aprovechar las aguas lluvias, para dar soluciones a los problemas productivos de los pequeños y medianos productores, derivados de la escasez de agua en áreas de secano de la zona central de Chile, así como apoyar la acción de diversas instancias regionales que intervienen en la conservación del agua, para enfrentar en mejor forma la problemática del cambio climático.

Este boletín presenta los distintos temas a modo de capítulos, conforme a una secuencia lógica que responde a los momentos mismos del fenómeno lluvia, como objeto de investigación y uso bajo los parámetros presentados en este documento, desde la captación misma, pasando por su acumulación, hasta el aprovechamiento final de las aguas lluvias.

ÍNDICE

Capítulo 1. Técnicas de captación y acumulación de aguas lluvias, recomendadas para la agricultura familiar campesina_____	8
Capítulo 2. Sistema de cosecha de aguas lluvias con acumulación en cisternas flexibles. (Pasos a seguir para su instalación)____	33
Capítulo 3. Captación de aguas lluvias mediante uso de tecnología de “Atrapanieblas” _____	47
Capítulo 4. Cisternas de ferrocemento: tecnología adecuada para la acumulación de aguas lluvias_____	73
Capítulo 5. Sistemas de acumulación de agua para áreas de secano, fomentados por el SIRSD-S_____	108
Capítulo 6. Construcción de invernadero tipo capilla_____	121
Capítulo 7. Producción de forraje verde hidropónico para la pequeña agricultura_____	159
Capítulo 8. Construcción de estructura de madera para producción de forraje verde hidropónico_____	175

TÉCNICAS DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, RECOMENDADAS PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA

Jorge Carrasco Jiménez
David Mora López
Patricio Abarca Reyes

Cristian Aguirre Aguilera
Jorge Riquelme Sanhueza
Luis Silva Rubio

1. INTRODUCCIÓN

Conforme a estudios del CIREN (2009), la Región del Libertador Bernardo O'Higgins posee una superficie total de 1.647.000 hectáreas, y de ellas un 973.348 presentan niveles de erosión que van desde muy leve a muy grave. De hecho, esta Región es la que presenta mayor cantidad de superficie con dichos niveles de erosión del país, destacándose las comunas de "La Estrella", "Navidad", "Paredones", y "Litueche".

Si a lo anterior le sumamos la escasez del agua y la mala distribución de las precipitaciones, el problema se complica aun más en la producción de cultivos, originando con ello una baja productividad agrícola. Por lo tanto, el aprovechamiento y conservación del recurso hídrico se transforma además, en una prioridad como medio de subsistencia en las áreas rurales de secano, donde la competencia por este recurso se basa en satisfacer, en primer lugar, la demanda de consumo humano, y en segundo lugar y en caso de existir, el excedente para la producción agrícola.

En la zona del secano costero norte de la Región de O'Higgins, el promedio histórico de precipitaciones de los últimos 45 años ha sido de 796,6 mm ⁽¹⁾. Sin embargo, éstas han ido disminuyendo en la última década, haciendo crisis en los años 2009, 2010, 2011, y 2013 y 2015, al no superar los 600 mm acumulados en el año (**Figura 1**), afectando con ello la recarga de norias, y el abastecimiento de agua de bebida y de riego a los productores de la zona.

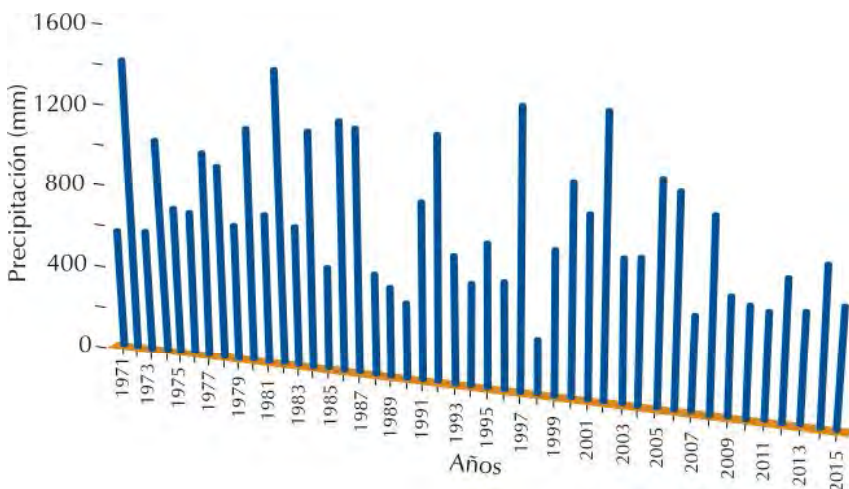


Figura 1. Precipitación anual acumulada (mm), período 1971-2015, según datos de estación meteorológica Hidango, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Evaluaciones realizadas por INIA, con datos meteorológicos de la estación experimental Hidango, comuna de Litueche, Provincia Cardenal Caro, Región de O'Higgins, han permitido establecer que en la última década (2006-2015) las precipitaciones promedio llegan a los 645,8 mm, es decir un 18,9% por debajo de la media histórica, y un 23,7% por debajo de la década anterior (1996-2005) (**Figura 2**).

⁽¹⁾ Según datos de la estación meteorológica de INIA-Hidango, comuna de Litueche.

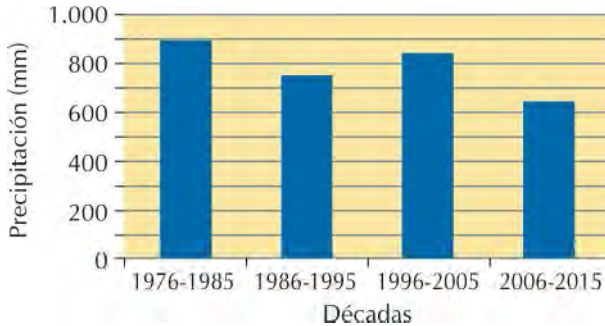


Figura 2. Precipitación anual (mm), promedio por década, período 1971-2015, según información recogida en la estación meteorológica Hidango, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Un antecedente interesante, obtenido del análisis de la información meteorológica de 45 años y que explica la baja de las precipitaciones en la última década (2006-2015), exhibe que en los meses de invierno, junio y julio, las precipitaciones mensuales no superan los 350 mm, en comparación con los mismos meses de períodos anteriores, donde se llegaba a tener precipitaciones sobre los 400 mm, y en algunos casos, por sobre los 500 y 600 mm en esos meses. Incluso, a partir del año 2007, las lluvias mensuales acumuladas no superan los 300 mm, siendo crítico el mes de julio con precipitaciones por debajo de los 200 mm, a partir de ese año, y con años extremos donde no se superó los 60 mm en el mes de julio (años 2009 y 2012). De acuerdo a la información analizada, llama la atención el agua caída en los meses de junio y julio del año 2000, donde las precipitaciones llegaron a los 738,2 y 7,7 mm, respectivamente (**Figura 3**).

La información mostrada es preocupante, porque con este nivel de precipitaciones en los últimos años, se ha generado un problema de escasez de agua en las comunas del secano, principalmente en el período que va desde fines de primavera a comienzos de

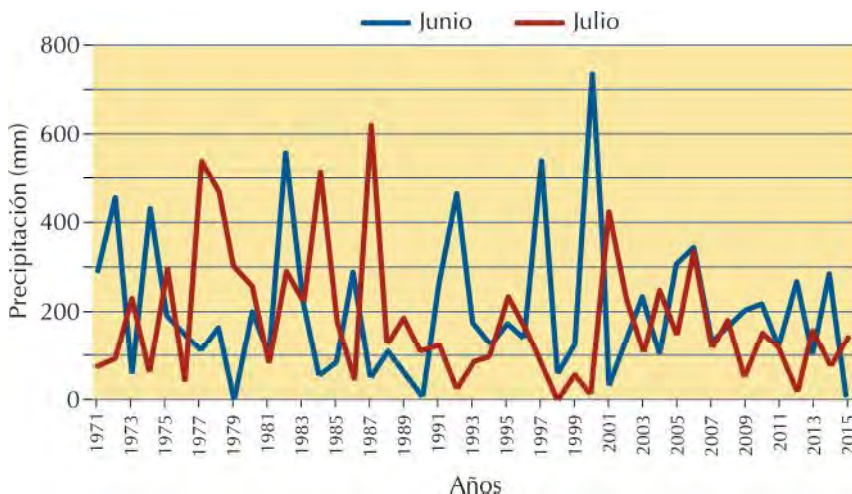


Figura 3. Precipitación mensual acumulada (mm), meses de junio y julio, período 1971-2015, según datos de estación meteorológica Hidango, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

otoño, es decir entre 4 a 5 meses con ausencia de lluvias. Esta condición, ha obligado a las municipalidades de estas comunas a distribuir agua entre las comunidades rurales, utilizando para ello, camiones aljibe (**Figura 4**) que acuden una vez por semana, distribuyendo 1.000 litros por familia, lo cual, muchas veces, es insuficiente para abastecer las necesidades de los habitantes del secano.

Figura 4. Distribución de agua con camiones aljibe, en áreas rurales de comunas del secano de la Región de O'Higgins.



El agua se guarda en cada casa de las familias rurales, en tambores metálicos de 200 litros o de material plástico de distintas capacidades, existiendo muchas veces precarias condiciones de higiene en el manejo del agua.

El movimiento y entrega de agua, se realiza normalmente utilizando camiones de 10.000 de capacidad. Esta forma de distribución del agua, ha tenido un alto costo, que ha sido fuertemente subsidiado por las municipalidades de cada comuna del secano.

Hasta hace algunos años, en el secano de las regiones de O`Higgins y del Maule, existía una no despreciable cantidad de pequeñas fuentes de agua que se estaban utilizando a su máximo potencial, para fines de riego agrícola. Sin embargo, producto de la disminución de las precipitaciones en los últimos años, éstas hoy en día se han ido agotando y no han tenido la capacidad de recuperarse para cubrir las necesidades de agua de los productores del secano. Si a lo anterior le sumamos el hecho que el terremoto del 27 de febrero del 2010 produjo un cambio en las napas, y con ello, la disponibilidad de agua de las norias, significa que se reduce considerablemente el volumen utilizable. Ello hizo necesario el buscar alternativas que permitiesen un aprovechamiento del único recurso disponible para abastecer de este vital elemento en áreas de secano. Una de estas alternativas, es la captación de aguas de lluvia.

2. ¿QUÉ ES LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS?

Es una técnica que permite capturar o desviar la precipitación de agua caída en un área determinada, para ser utilizada en el riego de cultivos bajo invernaderos, huertas familiares, o en la vida diaria de los hogares de los productores de zona áridas, como lo es el secano costero e interior de la zona central y sur de Chile.

2.1. Experiencias en el mundo

Debido a las condiciones producidas por el cambio climático en los últimos años, la captación de aguas lluvia está tomando una gran importancia en áreas rurales y especialmente en países con zonas áridas, donde es necesario garantizar acceso de abastecimiento de agua a través de todas las formas posibles, y una de éstas, son las aguas lluvias.

Australia encabeza a nivel mundial, el desarrollo de los sistemas de captación, acumulación, y uso de las aguas lluvias, a través de políticas de aprovechamiento, conjunta con incentivos tributarios y conciencia ambiental. Estados Unidos, China, Japón, Indonesia, Alemania, España, Francia, Nigeria, Zambia, Kenia, y Sudáfrica también han logrado experiencias exitosas relacionadas a la normativa exclusiva del uso de esta práctica. En Kenia, África, por ejemplo, gracias al financiamiento internacional en distintos sectores de ese país, se han instalado para consumo humano, sistemas de captación de aguas lluvias desde los techos de las casas (**Figura 5**).



Figura 5. Sistema de captación de agua pluvial para consumo humano. Kenia, 2015.

(Fotografía Pamela García).

En Latinoamérica, México ha liderado diferentes proyectos de mediana y pequeña escala, con sistemas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, en diversas experiencias ligadas a centros comerciales, industrias, áreas residenciales, complejos deportivos, y sistemas de demanda para la agricultura, en más de 50 ciudades. En Sudamérica es Brasil quien lidera los trabajos de aprovechamiento de aguas lluvias, con proyectos de mediana escala en algunas ciudades del nordeste de Brasil, haciendo captación de agua en edificios e industrias. Además, tiene un programa orientado a incorporar 1.000.000 cisternas de ferrocemento en la zona del nordeste árido de ese país para la acumulación de aguas lluvias, y que se utilizarían para consumo humano y uso agrícola de tipo agricultura familiar campesina, y en proporción a un igual número de familias. A la fecha, llevan instalado un número cercano a las 600.000 unidades.

2.2. Experiencias en Chile

En Chile, en la Región del Bío-Bío, específicamente en Yumbel, el Centro de Educación y Tecnología (CET) ha trabajado por años apoyando a la agricultura familiar campesina, en temas relacionados, entre otros, con el manejo sustentable del agua y en el que se han incluido la captación de aguas lluvias. En este Centro, se han desarrollado un número importante de cursos, orientados a técnicos y agricultores, sobre distintos sistemas de manejo de suelos y aguas.

En la Región de O'Higgins, entre los años 2009 y 2010, y gracias al Apoyo del PNUD, la Junta de Vecinos "La Aguada", con el apoyo técnico del INIA y del Prodesal de Navidad, desarrollaron un proyecto de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias para pequeños productores, incorporando un innovador sistema de "cosecha y manejo de aguas lluvias", el cual capta agua desde los techos de las casas y las conduce a través de canaletas, hasta contenedores de capacidad de 1.000 a 5.000

litros, lo que les permite almacenar y poder contar, con el valioso recurso en los meses de escasez hídrica.

Posteriormente, el año 2011, el INIA inició un trabajo de gran envergadura, desarrollando el proyecto “Desarrollo de técnicas de reciclaje y reutilización de las aguas lluvias cosechadas, para cultivos en invernadero en la Región de O`Higgins”, contando para ello con el apoyo del Gobierno Regional (GORE) a través de los Fondos de Innovación para la Competitividad, FIC-R, que permitió instalar en esa región 50 unidades de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, en proporción a un igual número de predios de pequeños agricultores. Paralelamente, en la misma región, INDAP estableció un número cercano a las 200 unidades de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, en predios de igual número de pequeños productores. Para ello se utilizaron los techos de las casas para la captación del agua, y se usaron estanques de 5.000 litros para la acumulación, la cual se fue utilizando en la producción de hortalizas bajo invernadero, con riego por goteo.

Entre los años 2014 y 2015, gracias a un proyecto de desarrollo financiado por la Subsecretaría de Agricultura, el INIA inició un programa de trabajo sin precedentes en Chile, orientado a establecer un número cercano a las 400 unidades de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, en predios de pequeños agricultores de las regiones de O`Higgins, del Maule, y de la Araucanía. Este trabajo, además permitió capacitar un número cercano a los 1.000 productores, técnicos, y estudiantes de escuelas rurales, institutos y universidades.

En forma paralela, el INIA y la CNR suscribieron un convenio de colaboración de trabajo conjunto, financiado por la CNR y cofinanciado por INIA, el cual tuvo por objetivo el establecimiento e instalación de 18 sistemas piloto de cosecha de aguas lluvias, utilizando las techumbres de las viviendas para la captación,

para su posterior almacenamiento en estanques flexibles de 10.000 litros, y su subsiguiente aplicación a cultivos hortícolas y forrajeros, a utilizarse en las regiones de Los Lagos, Aysén, y Magallanes y la Antártica chilena, que incorporan invernaderos de policarbonato, para la producción de cultivos.

Las unidades pilotos del Convenio INIA-CNR, han permitido llevar esta forma de captación, entre otros, a dos predios de agricultores PRODESAL de la comuna de Porvenir, Tierra del Fuego, siendo estas unidades de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias las más australes del Mundo. Además, el trabajo conjunto ha permitido incorporar el concepto de “cosecha de aguas lluvias”, a través de unidades piloto en distintas comunas de la Región de Los Lagos, estimándose que a fines del año 2018, se llegará a un número cercano a las 1.000 unidades, que se replicarán a partir de los trabajos realizados por INIA y la CNR.

Un trabajo importante realiza en la Región del Maule el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca, la cual, con financiamiento regional, desarrolló una propuesta de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias (SCALLS), para las zonas rurales de la Región del Maule, con fines de abastecimiento doméstico y productivo en épocas de baja oferta hídrica. Actualmente, se encuentra evaluando el funcionamiento de 12 unidades demostrativas SCALLs en 5 comunas de la Región del Maule.

3. VENTAJAS DE LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

- 1. Ahorra agua.** Cada litro de agua que se captación, reducirá la cantidad usada de norias y la entregada por las municipalidades en camiones aljibes.

2. **El agua de lluvia es gratis.** Nunca se recibirá un recibo de pago por el agua colectada.
3. **El agua de lluvia contiene un nivel muy bajo de sales.** Las aguas de norias de las regiones del norte se extraen con una carga importante de sales.
4. **La captación de aguas lluvias reduce la erosión,** al disminuir el flujo de agua sobre el suelo (escorrentía superficial).

4. FORMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Existen tres formas de captación de aguas lluvias, recomendadas para las condiciones de los productores de la zona del secano de la Región de O'Higgins:

4.1. "In situ" en el suelo

Es decir, a través de distintas técnicas que permitan facilitar la infiltración del agua de escorrentía y acumularla en el perfil de suelo.

4.1.1. Subsulado o escarificado del suelo

Es una forma de facilitar la infiltración del agua en el perfil del suelo (**Figura 6**).

Por ejemplo, un tractor con una potencia superior a 110 Hp y con un arado subsolador, es un ejemplo de ello, con 3 ó 5 puntas (subsoladores) montados en un chasis, trabajando en un suelo lo más seco posible, condición que se consigue en verano u otoño, antes de las primeras lluvias. En algunos casos, en suelos de textura más arcillosas y que son más difíciles de romper, es necesario



Figura 6. Labor de subsolado entre 35 a 40 cm de profundidad, con cinco puntas, para romper capa compactada de suelos. Centro Experimental Hidango, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

que el suelo se hidrate superficialmente, con una primera lluvia, para facilitar la labor de subsolado.

Con la labor de subsolado se rompe la presencia de pie de arado, provocada durante muchos años por labores de preparación de suelos realizadas por arados de vertedera o disco utilizados, o por la compactación superficial generada por el pisoteo animal.

Previo a la labor de subsolado, la observación y el reconocimiento de un terreno, es una práctica necesaria tanto para observar si existen las condiciones adecuadas del suelo para el desarrollo de las raíces de las plantas, como para una adecuada infiltración del agua de lluvias en el perfil del suelo.

La manera de conocer las condiciones de un suelo es por medio de la observación de calicatas (**Figura 7**), técnica de prospección empleada con el fin de facilitar el reconocimiento y estudio directo del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.



Figura 7. Trabajo de observación de un suelo a través de una calicata, que permite detectar problemas de pie de arado, entre otras características del suelo.

Una forma práctica, para comprobar la existencia de compactación de suelos en una calicata, es utilizando un cuchillo con punta, el cual se usa sosteniéndolo con la mano y ejerciendo presión con la punta de él en las paredes de la calicata, desde la parte superior hacia abajo, evaluando la resistencia que opone el suelo a la penetración de la punta aguzada de éste. Si existiese pie de arado, comúnmente ubicado en una profundidad entre los 25 y 40 cm aproximadamente, con seguridad se detectará al percibir una mayor resistencia del suelo a ser penetrado por la punta del cuchillo. Paralelamente, es conveniente observar además en las paredes de la calicata, la presencia o ausencia de raíces de malezas, las cuales al crecer en profundidad, repentinamente siguen su crecimiento lateralmente antes de profundizar hasta los 25 ó 40 centímetros, lo que confirmaría el problema de la existencia de algún impedimento físico que dificulta su crecimiento en profundidad, como lo es el pie de arado o compactación de suelos.

En terrenos con pendiente o de lomaje, una forma eficiente de uso de arado subsolador de 5 puntas, es trabajar con él siguien-

do curvas a nivel, en forma perpendicular a la dirección de la pendiente del terreno (**Figura 8**). Así se reducen riesgos de erosión, facilitando la infiltración del agua en los puntos donde el subsolador realizó su labor.



Figura 8. Labor de subsolado en curvas a nivel, para favorecer la infiltración del agua en el suelo. Centro Experimental Hidango, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

El principio es recoger las aguas lluvias que caen en la superficie no subsolada, a partir de las precipitaciones de los meses de otoño, que escurren hacia las áreas de suelo subsolado, infiltrando en éste por conductividad hidráulica vertical, y moviéndose posteriormente en él por conductividad hidráulica horizontal, en el área siguiente no subsolada. De esta forma, se consigue humedecer el área de suelo ubicado entre las pasadas de subsolador, lo que permite la germinación del banco de semillas de una pradera natural o sembrada, y el posterior crecimiento de ella.

Con el objeto de evaluar el efecto de la labor de subsolado en fajas (Figura 8), en un terreno de secano, de pradera sembrada con Falaris, del Centro Experimental Hidango, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se estableció un ensayo de evaluación del efecto del esa labor sobre un suelo, clasificado como Asociación Rosario, bajo un diseño de bloques al azar, que incluyó los siguientes tratamientos:

- **Subsolado en fajas.** Este tratamiento incluyó la labor de subsolado con 5 puntas, con pasadas en fajas de un ancho de la labor de 2,5 metros, y distanciada cada 7 a 8 metros de la pasada siguiente. La profundidad de la labor, se realizó a aproximadamente entre los 35 y 40 cm.
- **Testigo.** Sin labor de subsolado.

En este ensayo de campo, se hizo una evaluación del efecto de la labor de subsolado, sobre la acumulación de aguas lluvias en el perfil de suelo, midiendo la humedad de suelo a las profundidades 20 cm y 40 cm, desde el 22 de agosto del año 2014, hasta el 19 de diciembre del mismo año.

En la **Figura 9**, se observa la humedad de suelo, expresada en porcentaje, medida a los 20 cm de profundidad, en el período agosto-diciembre de 2014. En el período comprendido entre el 22 de agosto y el día 30 de octubre, se observa un mayor porcentaje de humedad en el tratamiento de subsolado, con relación al

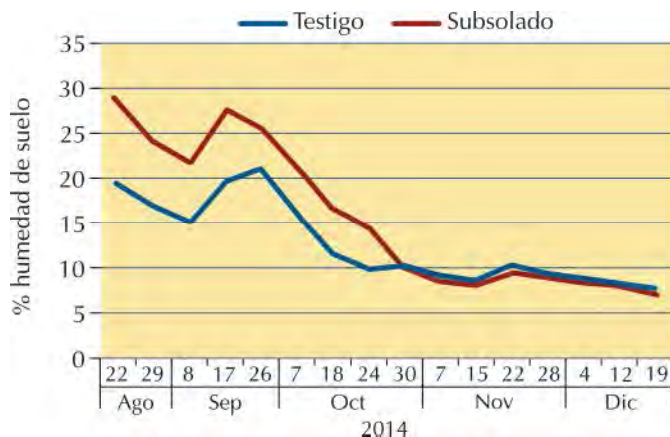


Figura 9. Humedad de suelo (%), medida a los 20 cm de profundidad, en el período agosto-diciembre de 2014. Ensayo de subsolado en fajas, en una pradera sembrada de Falaris. INIA-Hidango.

testigo (no subsolado). En el subsolado, esa humedad va desde un 28% el día 22 de agosto, la cual va decreciendo hasta el día 8 de septiembre, para llegar a un 22%.

Los días 23 y 24 de agosto del año 2014, la precipitación caída alcanzó a los 28,3 mm, suficiente para generar una recarga de agua en el suelo, como se observa en la figura, 9, que permitió llevarlo a un 27,6% de humedad. En el tratamiento testigo, la humedad medida el día 22 de agosto alcanza a un 19%, la que decrece hasta un 15,4%, y aumenta nuevamente hasta un 21,3%, lo que significa una diferencia de un 6,3% mayor en el caso del tratamiento subsolado.

A partir del 26 de septiembre, en ambos tratamientos la humedad decrece, pero manteniéndose siempre más alta en la tratamiento subsolado hasta el día 30 de octubre, por casi un 5 a 6%. Ese día, las humedades se igualan entre los dos tratamientos, condición que se mantiene hasta el mes de diciembre. Esto significa que bajo las condiciones de precipitaciones del año 2014 con el tratamiento de subsolado, en los primeros 20 cm se logró un mayor porcentaje de humedad en el suelo, hasta el día 30 de octubre, con relación al testigo. Este resultado refleja la importancia del subsolado, para permitir una mayor acumulación de agua en el perfil de suelo, en la profundidad medida, que agrupa el mayor porcentaje de raíces de una pradera.

Por otro lado, en la **Figura 10** se observa la humedad medida a los 40 cm de profundidad, en el tratamiento de subsolado, que se va comparando con la humedad presente en un suelo del terreno no subsolado (testigo). La primera medida de humedad de suelo se realizó el día 22 de agosto, encontrándose que con el subsolado se alcanzaba un 23,1% de humedad, y con el testigo un 17,2% de humedad, lo que significa una diferencia de un 5,9% a favor del subsolado. En ambos tratamientos, va decreciendo el porcentaje de humedad a través del tiempo, aumentando con



Figura 10. Humedad de suelo (%), medida a los 40 cm de profundidad, en el período agosto-diciembre de 2014. Ensayo de subsolado en fajas, en una pradera sembrada de Falaris. INIA-Hidango.

las precipitaciones de los días 23 y 24 de agosto, como con las precipitaciones de fines del mes de septiembre. Sin embargo, esta recarga es mayor en el caso de tratamiento de subsolado, donde es más efectivo el aumento del porcentaje de humedad del suelo, después de cada precipitación.

Aproximadamente el día 28 de noviembre del año 2014, en la profundidad de 40 cm, se igualan los porcentajes de humedad entre los dos tratamientos, lo que significa que con el tratamiento de subsolado, se facilita una mayor infiltración de agua en el perfil de suelo, la cual permanece por más tiempo, por lo que se ve más favorecido el crecimiento de la pradera establecida.

4.1.2. Aguadas superficiales o pequeños tranques

Una de las formas más importantes de Captar y Almacenar las aguas lluvias en los terrenos agrícolas, es a través de las aguadas superficiales de 100 a 500 m³ de capacidad (**Figura 11**), que consiste en utilizar el agua de lluvia que cae al suelo y escurre,



Figura 11. Aguadas superficiales, como sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias. Comunas de Navidad y Litueche, Región de O'Higgins.

manejándola desde su captación, conducción, y acumulación, con el fin de incrementar la productividad de los terrenos. Estas aguas pasan a constituir reservas acuíferas en las zonas de secano, que pueden servir, bien como bebida animal, o bien para el riego de cultivos. En el capítulo 5, de este Boletín, se hace una descripción de la construcción de aguadas superficiales, para la acumulación de aguas lluvias.

4.2. Colectarla desde los techos de las casas

Se recogen las aguas lluvias desde los techos de las casas y todo tipo de construcción, que pueda existir en un predio agrícola

(Figura 12), para conducirla por sistemas de canaletas y tuberías hasta un estanque acumulador de plástico polietileno, a una cisterna flexible (Figuras 13 y 14), o una cisterna de ferrocemento, que corresponde a una estructura de una mezcla de fierro, cemento, arena, y gravilla (Figura 15).

Figura 12. Sistemas de captación de aguas lluvias utilizando techos de las casas, además de canaletas y tubos de polietileno para la conducción hacia sistemas de acumulación.



Figura 13. Cisterna flexible con capacidad de acumulación de 10.000 litros de agua. Comuna de Ancud, Región de Los Lagos. Proyecto INIA-CNR.



Figura 14. Cisterna flexible con capacidad de acumulación de 10.000 litros de agua, con techo protector. Comuna de Litueche, Región de O'Higgins.



Figura 15. Cisternas de concreto y fierro (ferrocemento). Estructuras adecuadas para almacenamiento de volúmenes de 10.000 litros de agua. Comuna de Pichilemu, Región de O'Higgins.

La opción de colecta y acumulación de aguas lluvias a través de techumbres y otras estructuras receptoras de similares características, exhibe la alternativa de un aprovechamiento distinto en

zonas de baja disponibilidad de agua, al considerar el uso reciclado del agua en cultivos hidropónicos de hortalizas y forrajes hidropónicos como una opción eficiente para la producción de alimentos humano y animal.

Lo anterior tiene una gran importancia para la agricultura familiar campesina, porque INIA ha demostrado que con techos de 32 a 48 m², canaletas de colecta de aguas, tuberías para la conducción del agua colectada, y un estanque de capacidad de 10.000 litros, un productor puede llegar a acumular más de 20.000 litros de agua en una temporada, considerando una precipitación anual de 500 mm. Lo ideal es que el productor vaya utilizando el agua acumulada, por ejemplo, para la producción de hortalizas de invierno, y bajo invernadero con riego por goteo, haciendo uso del agua de las primeras lluvias, lo que deja espacio en el estanque para acumular el agua de las sucesivas precipitaciones que caerán durante el año. De esta forma, se puede llegar a acumular un volumen de agua lluvia que puede triplicar la capacidad del estanque, y con ella producir hortalizas durante los meses de mayo a noviembre.

En el sistema de colecta de aguas lluvias utilizando los techos de las casas, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) propone para los pequeños agricultores, nivel PRODESAL, un "Modelo de captación de aguas lluvias" que consiste en la colecta de las precipitaciones desde una techumbre de zinc preferentemente, sea en una casa, en bodegas, o en cualquier construcción. La colecta se hace a través de canaletas de material plástico, que se pueden encontrar en las ferreterías locales, la cual recoge el agua y la lleva a través de tuberías, hasta un estanque de material plástico de 5.000 a 5.400 litros, el que está debidamente protegido del sol bajo un cobertizo de madera y zinc (**Figura 16**). El agua acumulada se utiliza para producir hortalizas, con riego tecnificado, en invernaderos de 40 m² (5 x 8), superficie adecuada para producción de hortalizas de autoconsumo en una familia



Figura 16. Sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias utilizando techos de las casas y estanques acumuladores de 5.000 a 5.400 litros. Comuna de La Estrella, Región de O'Higgins.

de pequeños productores (**Figura 17**). Una forma de mejorar la capacidad de acumulación, es instalando una cisterna flexible de 10.000 a 20.000 litros.



Figura 17. Invernadero de plástico polietileno U.V, de 40 m² de superficie. Adecuado para producción de hortalizas de autoconsumo, en la agricultura familiar campesina.

El cálculo del agua colectada se realiza considerando que 1 milímetro de agua caída en una lluvia, corresponde a 1 litro de agua caída en 1 metro cuadrado de una superficie horizontal. Se considera un 20% de pérdida de agua a causa de la salpicadura de la lluvia al impactar sobre los techos, y de pérdida en las canaletas que la recogen cuando el agua sobrepasa su capacidad de conducción, por lo cual y para cálculo del agua recogida, se debe considerar un factor de eficiencia de un 80%. Además, un techo se construye con cierta inclinación, lo que significa que la lluvia es recibida por una superficie no horizontal, necesaria para su escurrimiento.

¿Cuánta agua lluvia se puede colectar desde el techo de una construcción?

En el **Cuadro 1** se observa que con una mayor superficie de techo, es posible colectar un mayor volumen de aguas lluvias, bajo una misma condición de precipitación. Con una precipitación de 600 mm, que es la media aproximada de los últimos 5 años en la región de O'Higgins, se puede llegar a colectar un volumen de agua cercano a los 15.360 y 23.040 litros, en los techos de 32 y 48 m², respectivamente.

Cuadro 1. Cantidad aproximada de agua colectada desde el techo de una casa.

Lluvia (milímetros de agua caída)	Litros de agua colectada	
	Techo de 32 m ²	Techo de 48 m ²
12	320	480
25	640	960
50	1280	1.920
100	2.560	3.840
200	5.120	7.680
400	10.240	15.360
600	15.360	23.040
800	20.480	30.720

4.3. Colectarla de atrapanieblas

Otra alternativa tecnológica de captura de aguas, para la agricultura familiar campesina, que se ha evaluado a través de trabajos desarrollados por INIA, es el Sistema Atrapanieblas, que consta de una malla raschel doble, con un área de 40 m² de colecta, la cual va sujeta por dos postes de 6 metros de altura, que a su vez van enterrados en el suelo y sostenidos por alambres acerados (Figuras 18 y 19). Esta tecnología se usa en algunos sectores cos-



Figura 18. Sistema “atrapanieblas” y de aguas lluvias, de 40 m² de superficie de captación. La Aguada, comuna de Navidad. Región de O’Higgins.



Figura 19. Sistema “atrapanieblas” y de agua lluvia, de 40 m² de superficie de captación. INIA-Hidango, comuna de Litueche. Región de O’Higgins.

teros de las Regiones de Atacama y de Coquimbo. Sin embargo, en el sector de La Aguada, comuna de Navidad, y en el Centro Experimental Hidango, del INIA, comuna de Litueche, se instalaron sistemas atrapanieblas, con el objeto de evaluar su capacidad como colector de aguas lluvias, y aun de la misma niebla que es capaz de producirse en el sector.

Con respecto a las lluvias colectadas, los volúmenes de agua que colecta son similares a los techos de las casas, de igual área de captación, con la diferencia que el agua captada es limpia, siendo adecuada para bebida humana y producción de hortalizas y/o forraje verde hidropónico bajo invernadero.

Actualmente, la comunidad de Tumán, de la comuna de Navidad, con el apoyo de la Municipalidad de esa comuna y del PNUD, en un proyecto que se enmarca en la lucha contra la desertificación, aplicado a municipios rurales de la provincia Cardenal Caro, estableció cinco soluciones mixtas de captación y acumulación de aguas lluvias, utilizando para ello los techos de las viviendas, y además de captar agua de nieblas y de lluvias, a través de sistemas atrapanieblas instalados en el sector.

3. BIBLIOGRAFÍA

Carrasco J., Jorge, Squella N., Fernando, Riquelme S., Jorge, Hirzel C., Juan., y Uribe C., Hamil., 2012. Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación. Serie Actas N° 44. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Rayentué, Rengo, Chile. 210p.

- Carrasco, J., y Felmer, S. 2011.** Cosecha de aguas lluvia. Alternativa que permite resolver la escasez de agua en las áreas de secano de la zona central de Chile. En: Tierra Adentro N° 94, junio-julio. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. Pp 59-62.
- Carrasco, J., y Riquelme, J. (eds.), 2010.** Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo, Chile. 128p.
- Carrasco, J., y Mora, D., 2013.** Técnicas de conservación de suelos y agua: Zanjas de Infiltración. Informativo INIA-Rayentué, N° 45. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Rayentué. Rengo, Chile. 4p.
- FAO, 2013.** Captación y almacenamiento de agua de lluvias. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y El Caribe. Santiago, Chile. 270p.
- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tapia, J., García, P., y Cordova, M., 2015.** Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Documento Técnico N° 36. CTHA, Universidad de Talca. Talca, Chile. 94p.
- Riquelme, J. y Carrasco, J., 2013.** Capítulo 2. Laboreo Conservacionista de suelos: Arado Subsolador y Arado Cincel para la preparación de suelos En: Carrasco, Riquelme, y Hirzel. Conservación de suelos. Técnicas de manejo para áreas de secano. Serie Actas INIA N° 48. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Rayentué. pp.17-28.

SISTEMA DE COSECHA DE AGUAS LLUVIAS CON ACUMULACIÓN EN CISTERNAS FLEXIBLES. (PASOS A SEGUIR PARA SU INSTALACIÓN)

Patricio Abarca Reyes | *Cristian Aguirre Aguilera*
David Mora López | *José Olguín Rubio*
Luis Silva Rubio | *Jorge Carrasco Jiménez*

Situaciones producidas en los últimos años a consecuencia del cambio climático, han permitido un gran déficit del recurso hídrico en gran parte del país. La disminución de precipitaciones, agotamiento de fuentes naturales de agua, y la ineficiencia de este recurso, han originado que la escasez de agua se agudice cada vez más en el territorio nacional.

En la actualidad, la desertificación no sólo se observa en el norte de nuestro país, su desplazamiento hacia el sur cada vez es más relevante, si se considera a este término, como pérdida natural de vegetación por ausencia de humedad en el suelo.

Las condiciones señaladas anteriormente y la continua necesidad de agua para múltiples fines productivos, como el riego de cultivos y bebida animal, permiten que técnicas como la captación de aguas lluvias sea una alternativa viable para la pequeña agricultura.

Como se señaló en el capítulo anterior, el sistema de captación de aguas lluvias, entre otras técnicas, incorpora la colecta de

precipitaciones desde superficies limpias. Habitualmente se utilizan techos de casas o bodegas para recoger las aguas lluvias, y luego se derivan a través de canaletas hasta estanques de gran capacidad (5.000 a 20.000 litros), y finalmente ser utilizada con fines agrícolas productivos.

El trabajo desarrollado por INIA, en conjunto con INDAP y los distintos PRODESAL, en las comunas del secano costero e interior de las regiones de O`Higgins y Del Maule, a través de la implementación de unidades de captura de agua lluvia y sistemas de acumulación de la misma, ha permitido a productores agrícola de estas comunas realizar producción de hortalizas y forraje verde hidropónico en invernaderos, de una manera sustentable y de calidad, con alta eficiencia en el uso del agua.

Para la captación de aguas lluvias desde los techos de casas y bodegas, la conducción de las aguas lluvias se realiza generalmente con canaletas de material PVC y la acumulación puede ser en cisternas de ferrocemento, estanques de polietileno o cisternas flexibles. Estas últimas presentan características importantes que podrían condicionar su uso. A continuación se mencionan las principales cualidades de las cisternas flexibles:

- Son flexibles, pueden doblarse y ser guardadas en pequeños espacios, facilitando especialmente el transporte.
- Su altura máxima suele ser baja, permitiendo utilizar techos de menor altura para la colecta de lluvias.
- La entrada de agua al estanque desplaza simultáneamente el aire contenido en su interior, lo cual impide la proliferación de algas.
- Es un sistema que se adapta mejor a cualquier sistema de colecta de aguas lluvias.

- El líquido almacenado se mantiene siempre limpio, sin evaporación, y sin contaminación exterior.
- Es de fácil instalación, sólo necesita de superficies niveladas y libres de elementos puntiagudos.
- En caso de roturas leves, puede ser reparada fácilmente aun estando con agua.
- Está construido con un material de alta resistencia y muy duradero.
- Es resistente a temperaturas extremas, tanto frías como cálidas.

La instalación de un sistema de cosecha de aguas lluvias con almacenamiento en cisterna flexible, suele ser un trabajo sencillo, no obstante, pequeños errores pueden llevar a problemas o fallas en su funcionamiento. En consideración a lo señalado, y para realizar una correcta instalación se deben seguir los siguientes pasos:

1. INSTALACIÓN DE CANALETAS DE PVC

Para la instalación de canaletas, ya sean metálicas o de PVC se debe previamente colocar una madera para la sujeción de los ganchos (tapacán), normalmente una tabla de pino no menor a 20 cm de ancho, comercialmente vendida con las dimensiones de 1" x 8". Una madera de menor ancho complicaría entregar una pendiente adecuada para la canaleta. Una vez instalado el tapacán se debe elegir el extremo del techo por la cual se evacuará el agua recibida, de tal modo de marcar la ubicación de ganchos y la bajada de agua.

- a) Sobre el tapacán y a una distancia promedio de 15 cm desde la orilla, ubicar un trozo de canaleta, de este modo observar la ubicación del primer gancho de sujeción (**Figura 1**).



Figura 1. Ubicación del primer gancho de sujeción para dar inclinación a la canaleta.

- b) Marcar con lápiz y colocar un pequeño clavo por debajo de la posición del primer gancho de sujeción (**Figura 2**)

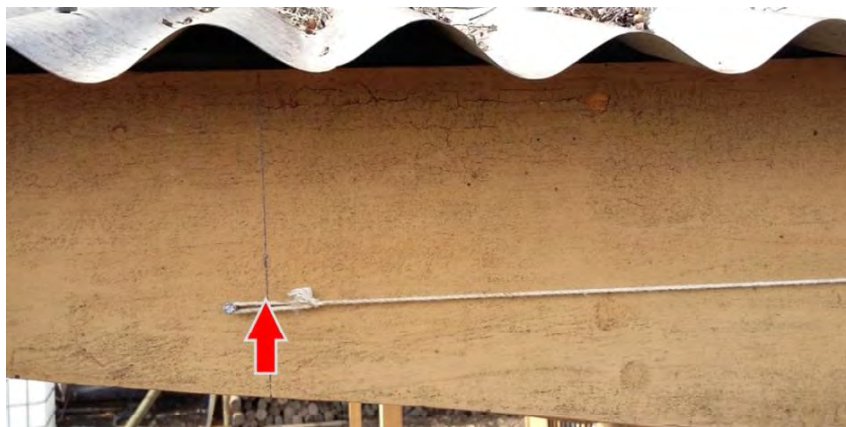


Figura 2. Ubicación de una lienza para nivelación de canaleta y ganchos de sujeción.

- c) En el otro extremo del tapacán donde irá ubicada la bajada de agua, colocar otro clavo para estirar la lienza, de este modo, dar la pendiente a la canaleta y la posición de los ganchos de sujeción. La pendiente mínima no debe ser menor a 4 mm por cada metro lineal. Por ejemplo, si la distancia total es de 9 metros, la diferencia de altura entre los ganchos extremos será de 3,6 cm.
- d) Las canaletas de PVC miden habitualmente 4 m de largo, lo cual, se debe marcar esta distancia desde el comienzo del techo y a lo largo del Tapacán según la cantidad de canaletas a utilizar (4 m, 8 m, 12 m, etc.). En la marca del término de cada canaleta medir 15 cm a cada lado, con motivo de ubicar un par de ganchos cercanos a la unión de las canaletas para mayor resistencia de éstas (**Figura 3** y **Figura 4**).



Figura 3. Marca para determinar la unión de canaletas y ubicación de ganchos cercanos a ella.



Figura 4. Ganchos de sujeción ubicados a 15 cm desde la unión de las dos canaletas.

- e) Se recomienda en promedio ubicar ganchos de sujeción a unos 60 cm entre ellos y no a más de 15 cm desde las uniones y bajadas de agua para entregar mayor resistencia de la canaleta al peso del agua, por lluvias intensas (**Figura 5**).
- f) Lijar y pegar todas las tapas y uniones posibles en piso, permitiendo el pegado entre canaletas en altura sobre los ganchos (**Figura 6**).



Figura 5. Ganchos de sujeción ubicados al costado de la bajada de agua.



Figura 6. Unión de canaletas en altura, para facilitar montaje.

2. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN Y FILTRADO

Las tuberías de PVC utilizadas para la conducción de aguas lluvias, habitualmente presentan una longitud de 3 metros de largo, permitiendo la bajada de agua desde el techo hasta el suelo. Esta corta longitud perjudica la conexión de aguas desde dos techos (o dos aguas), principalmente por la ausencia de fittings para la conexión de tubos.

a) Conexión de tuberías para dos aguas de una casa

En la **Figura 7**, se observan las conexiones a realizar para unir dos aguas de una casa, utilizando tubos de bajada de 80 mm de diámetro, copla de bajada de tubo y una Tee sanitaria de PVC de 75 mm, esta última adaptada al sistema, ya que como se señaló anteriormente no existen accesorios (fittings) para unir tubos de 80 mm.



Figura 7. Diseños de conexión de dos aguas a través de Tee sanitaria de 75 mm.

La ubicación de tubos de bajada de agua, para unir techos de dos aguas, debe ser siempre, uno en forma vertical y otro horizontal, pues la Tee sanitaria de 75 mm presenta dos entradas hembra y una macho, condicionando solamente esta posición (**Figura 8**).



Figura 8. Filtro de polietileno para retener impurezas de mayor tamaño, como hojas e insectos.

b) Sistema de filtrado

El agua lluvia colectada para fines agrícolas, ya sea para riego de hortalizas o bebida animal, debe almacenarse lo más limpia posible. Para ello se debe utilizar un sistema de filtrado antes de la entrada del agua a la cisterna flexible, con el propósito de retener partículas que puedan tapan la salida de agua, la bomba hidráulica o el sistema de riego por goteo en el caso que se utilice para un invernadero. El filtro debe ubicarse a una altura mínima de 1,5 m desde el nivel basal de la cisterna, asegurando de esta forma que el llenado se realice de forma completa. En la Figura 8, se muestra un filtro de polietileno en la cual al caer el agua por el tubo de bajada, ésta se encuentra con una tapa inclinada, obligándose a pasar por una rejilla con separaciones de 1,5 mm, en la **Figura 9**, se muestra un cuerpo de bronce con malla cilíndrica en su interior de aproximadamente 30 mesh (30 hilos por pulgada lineal), siendo este último filtro más fino que el de polietileno.



Figura 9. Filtro con cuerpo de bronce utilizado para retención de partículas pequeñas

3. INSTALACIÓN DE CISTERNA FLEXIBLE

La instalación de una cisterna flexible no presenta un trabajo complejo, una de las consideraciones más importantes es la nivelación del terreno, la cual además debe estar libre de piedras o cualquier elemento que por presión sobre la cisterna, pueda generar una rotura en el estanque (**Figura 10**). El suelo debe quedar bien compactado, de modo que no ceda vertical ni lateralmente al momento que el estanque se encuentre a máxima capacidad.



Figura 10. Nivelación de terreno para ubicación de cisterna flexible.

a) Conexión desde el filtro a la cisterna flexible

Independiente del tipo de filtrado utilizado, la conexión desde el filtro hasta la cisterna flexible se realiza con tuberías rígidas y flexibles de 50 mm, diámetro suficiente para conducir el agua y su correcta entrada.

Dependiendo del tipo de cisterna, algunas presentan la entrada de agua por el costado, en cambio otras, lo hacen por la parte superior. Esto condiciona que la tubería rígida de PVC al llegar hasta a la cisterna tenga una altura de 50 ó 120 cm. En la **Figura 11**, se muestran las conexiones desde el sistema de filtrado hasta la cisterna flexible utilizando tuberías de 50 mm.



Figura 11. Izquierda: Instalación de cisterna flexible con entrada lateral y filtro de bronce. Derecha: Instalación de cisterna flexible con entrada superior y filtro de polietileno.

Una vez instalado el sistema de captación, conducción y almacenamiento de agua, se puede incluir un techo de zinc y madera que la proteja de la radiación solar (**Figura 12**). Incluso ese mismo techo, serviría como una alternativa para coleccionar agua lluvia, e incorporarla al interior de la cisterna. Además, es recomendable incorporar un cierre al contorno de la cisterna flexible, para impedir el ingreso de animales y una posible rotura por mordeduras (perros, roedores, etc). En el mejor de los casos, el cierre perimetral puede ser construido con planchas de zinc de una altura aproximada de 1,2 m, más unos 30 cm enterrado (1,5 m en total).

Posterior a las precipitaciones, el agricultor debe preocuparse de una mantención básica de la unidad. Se recomienda limpiar periódicamente canaletas y sistema de filtrado, de tal modo que no colapsen las tuberías y se originen roturas por exceso de peso en el sistema.



Figura 12. Cisterna flexible de 10.000 litros a máxima capacidad de acumulación de agua, techo de zinc y madera de protección. Litueche, Región de O'Higgins.

En la actualidad, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, a través de un proyecto conjunto que desarrolla con la CNR, tiene instalado sistemas de captación de aguas lluvias en las regiones sur del país (Los Lagos, Aysén, y Magallanes), siendo las cisternas flexibles una de las alternativas más adecuadas para la acumulación de las aguas colectadas, permitiendo el aprovechamiento de estas últimas en la agricultura familiar campesina, ya sea para riego de hortalizas en invernadero y/o bebida animal. En la **figura 13**, se observa una cisterna flexible de 10.000 litros a máxima capacidad de llenado, instalada en la localidad de Puerto Natales, Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Cuando las cisternas han completado su capacidad, con las lluvias sucesivas comienzan a rebalsar a través de una salida ubicada en la parte superior.

Las unidades de cosecha de aguas lluvias construidas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias utilizando cisternas flexibles, se han realizado con capacidad de acumulación de 10.000 litros, y superficies de techos en promedio de cincuenta metros cuadrados (50 m²), esto último condiciona si se utiliza una o más caídas de agua desde los techos, por tanto, variando a su vez la cantidad de materiales a



Figura 13. Cisterna flexible a máxima capacidad con sistema de colecta de aguas lluvias. Comuna de Natales, Región de Magallanes y la Antártica chilena. Proyecto de desarrollo convenio INIA-CNR.

utilizar por cada unidad. En el **Cuadro 1**, se describen los materiales a utilizar en un sistema de colecta de agua lluvias, utilizando una cisterna de 10.000 litros y dos caídas de agua de una casa.

Cuadro 1. Materiales y costos, para un sistema de colecta de aguas lluvias, utilizando una cisterna flexible de 10.000 litros, para la acumulación de aguas lluvias.

Materiales	Dimensión	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)	U.F.
Canaleta de PVC	4 m	5	3.490	17.450	
Tapas de PVC para canaleta	Estándar	4	900	3.600	
Ganchos de PVC para sujeción	Estándar	32	800	25.600	
Unión de PVC para canaleta	Estándar	2	850	1.700	

Continuación del cuadro 1.

Material	Dimensión	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)	U.F.
Bajada PVC para canaleta	Estándar	2	3.110	6.220	
Codo PVC	80 mm 87,5°	3	1.590	4.770	
Codo PVC	80 mm 67,5°	3	1.390	4.170	
Tubo de bajada PVC	80 mm	3	3.140	9.420	
Copla tubo de bajada	80 mm	4	1.790	7.160	
Tee sanitaria PVC	75 mm	1	1.315	1.315	
Abrazaderas PVC	80 mm	9	600	5.400	
Filtro bronce	2"	1	33.757	33.757	
Terminal PVC SO – HE	63 – 2"	2	1.505	3.010	
Reducción PVC	63 – 50 mm	1	1.430	1.430	
Reducción larga	75 – 63 mm	1	1.085	1.085	
Tubería hidráulica	50 mm – 3 m	2	4.190	8.380	
Abrazaderas PVC	50 mm	6	400	2.400	
Codos PVC	50 mm	4	630	2.520	
Manguera flexible	50 mm – 1 m	2	3.613	7.226	
Abrazaderas metálicas	40 – 60 mm	2	1.390	2.780	
Cisterna flexible	10.000 L	1	999.600	999.600	
Pegamento para PVC	250 ml	1	1.762	1.762	
Lija	Nº 80	2	330	660	
Costo total unidad				1.151.415	44.98

* Tanto la disponibilidad de materiales como los precios pueden variar dependiendo del proveedor y ciudad donde se adquieran.

** El valor de la UF, corresponde a \$ 2.548,4 del 30 de noviembre del año 2015.

CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS MEDIANTE USO DE TECNOLOGÍA DE “ATRAPANIEBLAS”

Virginia Carter Gamberini | *David Mora López*
Jorge Carrasco Jiménez | *José Olguín Rubio*

Cada año en las regiones del norte y centro de Chile, el agua está siendo un elemento escaso, no sólo para producción agrícola, sino que también para consumo humano y animal. Por lo cual, cualquier forma que aumente la disponibilidad de ella, permitirá una mejora de las condiciones de vida de sus habitantes.

Como se señala en el Capítulo 1, de este Boletín, en la zona costera del norte de Chile, una de las formas utilizadas en la obtención de agua para consumo humano, es recogerla de la niebla que se origina en los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa. La captación de agua de niebla es una tecnología probada a nivel mundial, y tiene como objetivo el abastecimiento de agua potable en cantidades básicas para ciertas regiones áridas, e incluso para otras que no siendo declaradas zonas áridas o semiáridas debido a precipitaciones registradas, presentan igualmente períodos importantes de sequía para la población.

Ejemplo de lo dicho es la captación de agua niebla de forma eficiente, en las zonas del norte de Chile y específicamente en las caletas de pescadores. Hasta hoy, el proyecto más exitoso realizado es el de abastecimiento de agua potable en la localidad de Chungungo, ubicado a 80 km al norte de La Serena. En dicho proyecto se desarrolló un prototipo que consiste en un set interconectado de paneles "Atrapanieblas", los cuales dispuestos

convenientemente y localizados a 900 m.s.n, interceptan las neblinas que trasladan los vientos marinos hacia el continente.

El sistema “Atrapanieblas” está compuesto por una estructura que posee una superficie de captación de agua de niebla de 40 m², formada por una doble capa de malla Raschel (35% sombra). Esta malla de 4 metros de alto por 10 metros de largo, es sostenida por dos postes de 6 metros de largo y entre 12 a 14 cm de diámetro, los cuales son unidos por una serie de cables de acero galvanizado (**Figura 1**) soportados por anclajes de 1 m³, de una mezcla de cemento, arena, grava, y reforzados con rocas.



Figura 1. Estructura "Atrapanieblas" con malla Raschel de 40 m² de superficie, para la captación de nieblas y aguas lluvias instalada por INIA. La Aguada, Comuna de Navidad, Región de O'Higgins.

La malla Raschel del “Atrapanieblas” capta el agua de las gotas de neblina arrastrada por el viento, las cuales son trasladadas gravitacionalmente a través de un sistema de tuberías hacia un estanque de acumulación, y luego a la red de agua de los habitantes de un sector.

Considerando que la zona de la Cordillera de la Costa del secano de la Región de O'Higgins, presenta serios problemas de abastecimiento de agua para las familias que viven en esa zona, la alternativa de los “Atrapanieblas” aparece como una posibilidad real

para satisfacer estas demandas, lo que permitiría captar un volumen importante para producción agrícola, por ejemplo, de hortalizas y forraje verde hidropónico bajo invernadero y con riego tecnificado.

Lo anterior confirma que la tecnología de “Atrapanieblas” instalada en sectores del secano costero, resulta ser un complemento a otras tecnologías de captación de aguas lluvias.

El “Atrapanieblas” posee en su parte posterior una canaleta recolectora de agua, de 10 metros de largo (**Figura 2**), la cual se conecta a un sistema de mangueras que conducen el agua captada hasta el sistema recolector elegido (estanque o cisterna) (**Figura 3**).

Figura 2. Canaleta instalada bajo la malla Raschel de un sistema “Atrapanieblas”, para la captación de agua de neblina o lluvia.

Centro Experimental Hidango, INIA. Comuna de Litueche, Región de O’Higgins.



Figura 3. Cisterna flexible de 10.000 litros de capacidad, para la acumulación de aguas captadas por un sistema “Atrapanieblas”. Centro Experimental Hidango, INIA. Comuna de Litueche, Región de O’Higgins.



1. LA NIEBLA COMO RECURSO HIDROLÓGICO

Algunos autores, señalan que la niebla es una nube que tiene su base a ras de suelo. Se compone de pequeñas gotas de agua (desde 1 a 40 micrones) y que por no tener peso suficiente para caer, quedan suspendidas en el aire, moviéndose de manera horizontal por acción del viento.

En algunos lugares de la Cordillera de la Costa donde la frecuencia de niebla es recurrente, las gotas son colectadas en enormes cantidades por la vegetación existente. Luego, al formar gotas más grandes, éstas caen al suelo producto de la gravedad. Es esta colecta natural de niebla la que sustenta la vegetación de regiones semidesérticas y donde las precipitaciones son escasas, o bien son inexistentes.

Existen dos aplicaciones principales para la captación de agua de niebla:

1. Los “Atrapanieblas” pueden proveer de agua que cumpla con los requisitos exigidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), respecto de los estándares de agua potable para comunidades rurales o grupos de casas, pudiendo ser distribuida a los hogares mediante la gravedad.
2. Los “Atrapanieblas” pueden proveer agua para reforestación en sectores de alta montaña o cerros, y donde es imposible transportar agua para dicho uso desde las fuentes convencionales. Ante este evento y desde el sistema de captación mismo, el agua de niebla puede ser distribuida mediante sistemas de irrigación por gravedad.

En la Cordillera de los Cuchumatanes, localidad de Tojquia, en Guatemala, y con motivo de la instauración, a partir del año 2006,

del mayor proyecto operacional existente en dicho país y que ha sido considerado emblemático a nivel mundial, se establecieron 35 unidades de sistemas “Atrapanieblas” operacionales (**Figura 4**), que entregan agua a un total de 27 familias (130 personas), con una producción promedio de 5 L/m²/día (7.000 litros/día).



Figura 4. Estructuras “Atrapanieblas” instalados en Tojquia, Guatemala, a 3.300 m.s.n.m. (Año 2007). Proyecto FogQuest: sustainable and water solutions.

2. LA EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE AGUA DE NIEBLA O DE LLUVIAS A SER COLECTADAS

Un lugar es identificado como un posible lugar de captación de agua de niebla y, por consiguiente, de aguas lluvias, si en primer término, existe la necesidad de agua por parte de la población. En segundo término y fuera de la necesidad, deben existir las condiciones necesarias para el agua pueda ser captada por dicho medio. Es así como se requiere que la comunidad del lugar haya observado una frecuencia de las nieblas y precipitaciones en el lugar, ante lo cual y como prueba de la observación se añadiría, una constatación en la existencia de factores geográficos relevantes para su formación, tales como la presencia de un cordón

montañoso, su cercanía al mar, la dirección de los vientos predominantes y de su movimiento perpendicular al eje del cordón montañoso. Bajo estas condiciones, un lugar puede ser evaluado como potencial en la captación de aguas nieblas/aguas lluvias.

Conforme a lo dicho, sin duda que la condición más favorable para que exista una captación positiva de niebla, es la instalación del sistema en montañas o cerros, donde el eje del cordón se ubique de manera perpendicular al viento predominante en el sector. Sin embargo, dependerá además de la cantidad de agua líquida que contenga la nube, del tamaño de las gotas de agua, y de la velocidad del viento que arrastrará las gotas de niebla o lluvias hacia la estructura.

La forma de hacerlo es mediante el uso de un Neblinómetro Estándar (Standard Fog Collector, SFC), propuesto por Schemenauer y Cereceda en 1994. Esta estructura consiste en un marco de malla Raschel de 1 metro por 1 metro (**Figura 5**). El marco además posee un espesor de 1cm, y debe ser construido preferentemente de madera o metal no corrosible. En áreas abiertas, el marco debe ser instalado a dos metros de altura desde su base en el suelo. La estandarización de las dimensiones de la estructura es importante,



Figura 5. Standard Fog Collector, instalado en La Aguada, Comuna de Navidad, a 203 m.s.n.m. Región de O'Higgins, año 2012).

debido a que con esto, se pueden comparar distintas áreas con el fin de establecer rangos de captación de agua de niebla, e incluso de agua de lluvia, en una determinada zona. En la parte inferior del marco, debe instalarse una canaleta que colectará el agua captada, la cual puede ser circular o cuadrada, y ubicada con una ligera inclinación o pendiente que favorezca en ella la circulación del agua colectada. Sus dimensiones son de 1,04 metros de largo, por 15 cm de alto y 10 cm de profundidad.

La metodología de evaluación de potencial utilizada por FogQuest (ONG especializada en proyectos de captación de neblinas), plantea que se realicen mediciones diarias por un período entre 6 y 12 meses. Sin embargo, se puede optar por no realizar la evaluación de potencial en el caso en que por la experiencia se asegure la existencia de niebla en el sector, lo cual tiene que ser confirmado por los habitantes del lugar de interés.

La medición de captación de aguas nieblas o de lluvias, se debe controlar cada día y a la misma hora, lo que permitirá obtener datos fiables. El Neblinómetro debe contar con un tambor o bidón conectado mediante una manguera a la canaleta receptora, a modo de que se recoja el agua en el día evaluado. Se recoge el agua colectada de 24 horas en recipientes graduados, de manera de obtener el valor exacto de ella en este período.

La evaluación de potencial permitirá identificar cuánta agua de niebla o de lluvia es captada por 1 m²/día. Conociendo cuánta agua se capta por metro cuadrado de malla Raschel doble, se puede estimar la producción total de una estructura de "Atrapanieblas" simple (igualmente doble o triple) en 24 horas (40 m²). Al contar con una evaluación de potencial a lo largo de un año, se puede obtener el dato de captación por todos los meses del año, logrando así planificar el uso del agua en función de la estación seca.

Las zonas más estudiadas en nuestro país se sitúan desde la Región de Tarapacá hasta la Región de Coquimbo, en donde se han registrado promedios de captación entre 7,81 L/m²/día (Alto Patache, Iquique) hasta 1,43 L/m²/día (Falda Verde, Chañaral), 8,26 litros/m²/día en el sector de Cerro Moreno, Región de Antofagasta; de 1,43 litros/m²/día en el sector de Chañaral, Región de Atacama y finalmente, de 2,98 litros/m²/día en el sector de El Tofo, en la Región de Coquimbo.

Hasta el año 2012, la Región de O'Higgins no había sido estudiada respecto del potencial de captación específico de L/m²/día. Sin embargo, en el caso del sector de "La Aguada", Comuna de Navidad, Provincia Cardenal Caro, en el mes de abril de 2012, se instaló un Neblinómetro Estándar, que permitió recoger datos de agua colectada, entre el 24 de abril hasta el 06 de octubre de ese año, estimando una captación promedio de 16,12 L/m²/día, lo que significa 644,8 litros promedio por día, colectados en una estructura "Atrapanieblas", con una superficie de captación de 40 m². Este promedio de captación, involucró a todas las aguas recogidas en la superficie de malla Raschel del Neblinómetro instalado, correspondientes a niebla y lluvia.

Por otro lado y en el mismo sector de "La Aguada", en los meses de diciembre a marzo de 2013 se midieron los volúmenes de agua colectada solo de nieblas. Estos fluctuaron entre los 4 y 12 litros por noche, en 40 m² de "Atrapanieblas", con un promedio de 6,3 litros, lo cual pudiese ser poco significativo. Sin embargo, para las condiciones de escasez de agua que se produce en el verano, ese volumen puede llegar a ser importante en una familia de pequeños productores, en particular como una alternativa de agua limpia captada para consumo humano.

En una unidad "Atrapanieblas" establecida en el Centro Experimental Hidango, del INIA, comuna de Litueche, a través de un

Neblinómetro de 1m x 1m, se evaluó el agua de lluvia colectada dentro del período comprendido entre el 18 de julio y el 31 de diciembre del año 2015, estableciéndose que el agua colectada en un "Atrapanieblas" de 40 m², llegó a 11.407 litros (**Figura 6**), volumen de agua importante si se considera que los meses de noviembre y diciembre no fueron relevantes en términos de agua colectada.

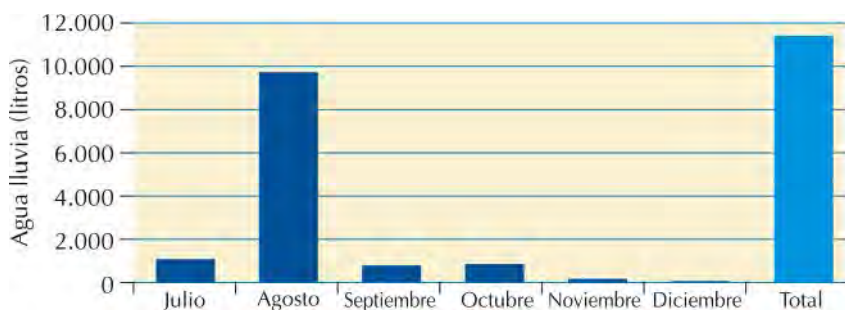


Figura 6. Agua de lluvias en litros, captada en un "Atrapanieblas" de 40 m², entre julio y diciembre de 2015.

Por otro lado, el mes más significativo correspondió al mes de agosto, con 9.720 litros colectados. No es despreciable el volumen de agua colectada del mes de julio, el cual llegó a 1.041 litros, en tan sólo un período de 12 días, si se considera que la evaluación se inició a partir del día 18 de ese mes.

De lo anterior, se desprende que la cantidad de agua captada mediante la tecnología de "Atrapanieblas", dependerá de la cantidad de estructuras instaladas, del nivel y frecuencia de neblinas, y de las precipitaciones del sector donde estén instalados estos sistemas. En la medida que exista una mayor superficie de captación de malla Raschel, mayor será el volumen de agua colectado.

3. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA "ATRAPANIEBLAS"

3.1. Armado de la estructura

- **Instalación del sistema de anclaje de la estructura del "Atrapanieblas"**

Antes de la instalación del sistema de anclaje de la estructura "Atrapanieblas", se deben hacer los hoyos donde se ubicarán los postes de la estructura. Estos permitirán ubicar los puntos donde se construirán los sistemas de anclaje de ella.

Por cada poste es necesario instalar tres sistemas de anclaje. Es decir, se construirán 6 sistemas, que permitirán sujetar los alambres acerados que van a sostener la estructura (**Figura 7**).

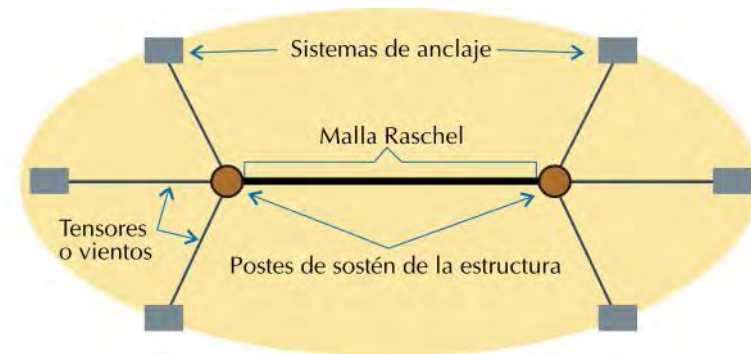


Figura 7. Vista en planta de la ubicación de los sistemas de anclaje, con respecto a los postes que sostienen la estructura.

En esta etapa, además se cavan los hoyos donde se enterrará cada poste. La profundidad de ellos debe ser de unos 50 a 60 cm, y con dimensiones de ancho y largo suficiente para acomodar posteriormente los postes y dejarlos firmemente enterrados. Los postes se enterrarán una vez que tengan incorporadas las varillas de anclaje y alambres tensores, los cuales permitirán sostener la estructura del "Atrapanieblas".



Figura 8. Sistema "Atrapanieblas" construido. Obsérvese los tensores o vientos de alambre de acero, los cuales van en dirección a los sistemas de anclaje instalados en el terreno. Centro Experimental Hidango, INIA. Comuna de Litueche.

El alambre acerado, que es utilizado en la estructura como "vientos", permite además mantener tensa la malla Raschel que captará las aguas nieblas o de lluvias.

El sistema de anclaje puede ser mejor construido con una base de concreto, para poder anclar los tensores (alambres acerados) (**Figura 9**). Si las características del terreno lo permiten y con la roca madre en su parte superficial, se pueden utilizar estructu-



Figura 9. Base de concreto, para anclar los tensores de la estructura "Atrapanieblas". Centro Experimental Hidango, INIA. Comuna de Litueche, Región de O'Higgins.

ras metálicas apernadas a ella (**Figura 10**), o sistemas de anclajes para parrones. Estos últimos dan buenos resultados y permiten reducir costos en el tiempo, de materiales y mano de obra, si se compara con la construcción de bases de concreto.

- **Preparación de postes y alambre acerado**

Tanto la preparación de los postes de la estructura "Atrapanieblas", como la del alambre a ser utilizado como elemento tensor de la misma, es una tarea necesaria para el emplazamiento de dicha estructura (**Figura 11**).



Figura 10. Anclaje metálico, apernado a la roca, utilizado para sostener la estructura "Atrapanieblas". La Aguada, Comuna de Navidad, Región de O'Higgins.



Figura 11. Perforación y preparación de los postes, y del corte del alambre acerado para la estructura "Atrapanieblas".

Se mide 0,6 m desde uno de los extremos de cada poste, y en ese punto, en el centro exacto de la cara de ellos, se hace una perforación de aproximadamente 0,5 pulgadas de diámetro, atravesando la totalidad del diámetro del poste. Esto se debe repetir para ambos postes.

Hecho lo anterior, se hace pasar por la perforación una varilla de anclaje o soporte de paso, de unos 40 a 45 cm de largo, debiendo estos quedar bien ajustados a la madera, dejandose aproximadamente unos 15 cm de extensión de la varilla, fuera del poste, y en cada salida (**Figura 12**). En ambas extensiones de salida de la varilla, se agrega una tuerca, la cual permite mantenerla fija sin que se produzcan desplazamientos y movimientos de ella. Una vez fija la varilla, se procede a amarrar a ella el alambre acerado, a través de grilletes con pasador y chaveta (**Figura 13**), además de usar abrazaderas de 5/16" para la sujeción del alambre (**Figura 14**).



Figura 12. Postura de la varilla de anclaje en los postes de la estructura, y colocación de tuercas de seguridad.



Figura 13. Labor de amarra a la varilla de anclaje del alambre acerado, en la parte superior de cada poste de la estructura.

También es necesario perforar la parte inferior de cada uno de los postes, atravesando completamente su diámetro. Esta perforación, debe ser hecha a una distancia de 4 metros a partir de la primera que se hizo para el paso de las varillas de anclaje, con idéntica orientación, y con un diámetro tal que permita el paso de alambre acerado del mismo grosor al utilizado como tensores.



Figura 14. Uso de abrazaderas de sujeción del alambre acerado en los postes de la estructura.

Esa perforación cumple el objetivo de permitir el paso de un alambre acerado, para atravesar cada poste (**Figura 15**). Por un lado, va hacia un punto de anclaje ubicado en el terreno, y por el otro, cruza el espacio que queda entre ambos postes, por el interior de un trozo de manguera, que permitirá sostener la malla Raschel en su parte inferior, fuera de proporcionarle la tensión

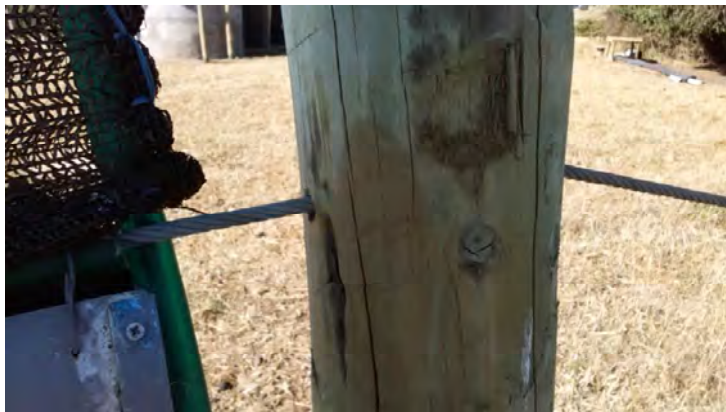


Figura 15. Alambre acerado que cruza uno de los postes de la estructura "Atrapanieblas". La prolongación hacia la izquierda sostiene la malla Raschel, y la de la derecha va hacia un tensor construido en el terreno.

necesaria. El alambre cruza el espacio entre ambos postes distantes entre sí a 10 metros, para finalmente atravesar el segundo y yendo finalmente hacia un segundo tensor instalado en el terreno, y que corresponde a este último poste.

- **Corte de manguera para contener el alambre acerado**

Se utiliza una manguera de material plástico, de aquellas usadas para riego de jardines, la cual será usada para cubrir el alambre acerado que va a sostener la malla Raschel. Para ello, el alambre se hace pasar por el interior de la manguera, por lo cual la extensión total del alambre a ser usado para sostener la malla Raschel, queda cubierta por el plástico de la manguera. Esta es una forma de proteger la malla, evitando así que ésta se rebane por efecto del roce del alambre acerado al quedar en contacto con ella, lo que terminaría finalmente cortándola. Además la manguera, por ser de material plástico blando, proporciona una superficie que reduce el daño a la malla, al quedar en contacto con ella.

Si la malla Raschel a instalarse tiene una superficie de 10 metros de largo por 4 metros de alto, significaría un perímetro de 28 metros, por lo cual se debe cortar un trozo de manguera de 28,5 metros, que permita cubrir un alambre acerado con la misma longitud y dejar un excedente para los amarres finales de la malla a la estructura.

- **Corte y costura de malla**

Se corta la malla Raschel con un largo de 10,5 metros y alto de 4,5 metros. Interesa alcanzar una superficie de captación de agua de 40 m², pero se corta aproximadamente con 0,3 cm adicionales en cada lado, para facilitar el cosido posterior de la malla, por sus bordes, envolviendo a la manguera que contiene el alambre acerado en su interior (**Figuras 16 y 17**).



Figura 16. Trabajo de unión de los bordes de la malla Raschel a la manguera que contiene el alambre acerado.



Figura 17. Malla Raschel preparada y sujeta a la manguera y alambre, previo a su instalación entre los postes de la estructura.

- **Levantamiento de estructura**

Una vez preparados los postes con las varillas de anclaje conteniendo cada uno de los alambres tensores o “vientos” de la estructura, y el alambre que va a sostener la manguera y malla Raschel, se procede a levantar y enterrar estos postes en el terreno elegido (**Figuras 18 y 19**). Hecha esta labor, se debe verificar que cada poste esté ubicado lo más vertical posible, cuestión que se determina con un nivel de burbuja.



Figura 18. Presentación de postes y tensores, preparados para el levantamiento de la estructura.

- **Preparación de canaleta**

Se toma un tubo de PVC sanitario de 110 mm, el cual se corta exactamente por la mitad, dejando dos mitades con forma de canaleta. Cada mitad se une a la otra parte para ir dando forma a una canaleta de 10 metros de largo. Es decir, se cortarán los tubos necesarios, con el objeto de ir formando una canaleta con dicha longitud. Las uniones entre partes de la canaleta, se van haciendo con pernos y golillas (**Figura 20**).

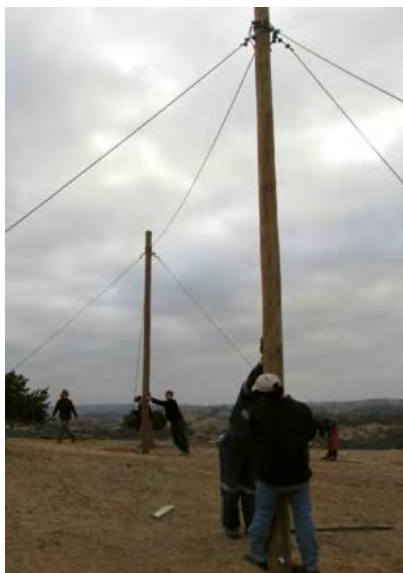


Figura 19. Levantamiento de la estructura de postes y tensores de alambre acerado.



Figura 20. Unión de canaletas entre sí, para lograr la longitud requerida para la estructura "Atrapanieblas".

- **Postura de la malla Raschel**

La postura de la malla raschel es una tarea fundamental en la instalación de un sistema "Atrapanieblas". Esta debe ir sujeta a la manguera que lleva en su interior el alambre acerado, el cual será el que soporte la tensión del sistema, al instalarse entre los postes de la estructura (**Figura 21**).



Figura 21. Preparación de la malla Raschel unida a la manguera y alambre acerado, previo a ser instalada entre los postes.

La malla Raschel debe quedar convenientemente ubicada entre los postes, tensa, y de manera que pueda desplegarse cubriendo totalmente los 40 m² de superficie, como fue cortada, sin dobleces y sin que quede suelta en alguno de sus extremos. Mientras mayor tensión alcance, mayor será la eficiencia en la captación del agua de nieblas, o de lluvias (**Figura 22**).



Figura 22. Labor de unión de la parte inferior de la malla Raschel, a la manguera y alambre acerado, envolviendo la manguera y asegurándola con aguja y pita.

- **Tensado final de estructura**

Esta labor es fundamental, porque permitirá tensar el alambre y manguera que sostienen la malla Raschel, consiguiendo que esta se mantenga cubriendo una superficie de captación de agua de 40 m². Además, permite verificar que cada uno de los componentes de la estructura haya quedado montado en forma óptima, de modo de soportar la intensidad de los vientos circulantes (**Figuras 23, 24 y 25**).



Figura 23.
Etapa de tensado de la malla Raschel, previo a la postura de la canaleta que recoge el agua de niebla y de lluvia.



Figura 24.
Estructura con la labor de tensión realizada en los alambre acerados, tanto de los vientos, como del que sostiene la malla Raschel.



Figura 25.
Instalada la estructura "Atrapanieblas", se aprecian los tensores de alambre acerado que sostienen la estructura, y sujetos a estructuras de concreto. INIA-Centro Experimental Hidango, Región de O'Higgins.

- **Postura de canaleta**

Una vez realizado el tensado de la estructura "Atrapanieblas", se instala la canaleta preparada con anterioridad, en la parte inferior de la malla Raschel, para permitir la recepción del agua colectada (**Figuras 26 y 27**). Se sujeta a la malla con alambre delgado, o con cuerda plástica. Se ubica en posición horizontal, y con una ligera pendiente, con el fin de favorecer el movimiento del agua hacia uno de sus extremos, facilitando así la recogida y acumulación en un estanque.



Figura 26. Instalación de la canaleta, para la captación de agua.



Figura 27. Evaluación del trabajo de la canaleta recogiendo agua de lluvia.

- **Unión del sistema de captación, al sistema de acumulación de agua**

Utilizando un TE sanitario, se une la canaleta de captación de agua hacia un sistema que permite conducir el agua colectada hacia un estanque acumulador (**Figura 28**). Se utiliza además un filtro Y, que permite recoger las impurezas del agua colectada.



Figura 28. Instalación del sistema de conexión a canaleta captadora de aguas y al estanque de acumulación.

4. COSTOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA “ATRAPANIEBLAS”

A continuación se presentan los costos estimados para la construcción de un sistema “Atrapanieblas” simple.

Materiales	Dimensión	Cantidad	Valor (\$)	Sub total (\$)
Poste impregnado	6" x 6 m.	2	33000	66000
Cable acero galvanizado (m)	5/16"	60	672	40.320
Alambre galvanizado (m)	N° 6	70	300	21.000
Cable acero galvanizado (m)	¼"	10	504	5.040
Bandola con seguro de acero	½"	2	1.450	2.900
Abrazadera	5/16"	31	490	15.190
Guardacabo para cables de acero	5/16"	10	250	2.500
Guardacabo	5/8"	2	1500	3.000
Grillete con pasador y chaveta de acero	5/8"	4	2100	8.400
Tensor ojo/gancho	16 mm	2	2700	5.400
Tuerca	5/8"	8	250	2.000
Golilla	5/8"	8	295	2.360
Manguera (m)	¾"	30	571	17.130
Hilo x metro	5/8"	2	9290	18.580
Tubo PVC sanitario	110 mm	2	7190	14.380
Tapa PVC sanitario	110 mm	2	870	1.740
TEE sanitario	110/50	1	1746	1.746
Filtro tipo Y, colector impurezas	50 mm	1	11.192	11.192
Codo PVC hidráulico	50 mm	1	614	614
Unión americana	50 mm	1	2708	2.708
Terminal HE/cementar	50 mm	1	475	475
Tubería PVC (C6)	50 mm	1	6918	6.918
Malla Raschel (35% sombra)	4,2 x 100 mt	0,2	50820	10.164
Anclajes de acero inoxidable	70 cm	6	7.680	46.080
TOTAL				305.837

Al costo total al día 30 de noviembre de 2015 de \$ 305.837, se le debe agregar el costo de mano de obra por "Atrapanieblas", que alcanza a los \$ 350.000. Por lo tanto, el costo total de la construcción del sistema asciende a los \$ 655.837. Este valor expresado en U.F. de esa fecha, corresponde a 25,6 UF.

Si se trata de comprar materiales para varios "Atrapanieblas", se puede comprar al por mayor, por lo cual el costo de cada unidad puede reducirse, lo que abarata los costos. Por ejemplo, un rollo de malla Raschel, 35% sombra de 4,20 metros por 100 metros, puede ser utilizado en la construcción de cinco "atrapanieblas" simples, por lo cual, aplicando economía de escalas, la segunda unidad y hasta la quinta unidad construida, resultan de un notorio inferior costo.

5. RECOMENDACIONES

Considerando las características del sector de emplazamiento de un proyecto de construcción e instalación de un sistema "Atrapanieblas", se proceden a dar las siguientes recomendaciones tanto técnicas, como de intervención comunitaria:

- **Realizar una evaluación de potencial.** Ello se realiza mediante la utilización de Neblinómetros Estándar (Standard Fog Collector) en, a lo menos, tres sitios dentro del área de estudio (secano costero) y por un período de 6 meses, a modo de identificar el comportamiento exacto de la niebla y lluvias en el lugar. Esta medición debe ser acompañada de la instalación de un Pluviómetro con *datalogger* digital, programado con la misma frecuencia que el Neblinómetro. Lo anterior, a modo de discriminar de manera exacta el agua captada por la malla y que corresponde agua de niebla, de aquella resultado del agua caída de las precipitaciones, evitando así confundir su origen.

- **Planificar segunda etapa de construcción "Atrapaniebla".** Una vez conocido el valor de captación de agua de niebla por 1 m²/día, se planifica una segunda etapa de construcción del sistema de "Atrapanieblas", previa identificación de las familias que estén dispuestas a recibir esta tecnología de captación de agua.
- **Programar posible reforestación y plantación de hortalizas.** El agua colectada, de acuerdo al volumen determinado por la evaluación, puede incluso ser utilizada en un programa de reforestación del sector y además en un programa de plantación de hortalizas bajo invernadero, regadas con agua de niebla y de aguas lluvias.
- **Informar a la comunidad.** En el sector donde se instalen los sistemas "Atrapanieblas", la comunidad debe estar informada acerca de los beneficios de ellos como captadores de agua limpia para consumo humano.
- **Instruir a las familias postulantes sobre el sistema atrapaniebla.** Es importante que las familias postulantes a la obtención de un sistema de "Atrapanieblas", se involucren en la etapa de construcción y de evaluación de potencial, a modo de que comprendan el fenómeno de la niebla, sus beneficios, y de que además conozcan los pasos a seguir considerando futuras ampliaciones en su propio sistema captador.
- **Procurar la participación directa de cada familia en la construcción del sistema.** Además, hay que procurar la directa participación de cada familia en la construcción del sistema, pensando además en que ellos deben mantener el sistema operativo, sea observando posibles roturas de malla o pérdida de tensión de la estructura, o sea realizando el cambios de canaletas cuando ello proceda.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Cereceda, P., 1989.** Las nieblas costeras como recurso hidrológico. En: Revista Geográfica de Chile. Terra Australis. N° 31. pp. 29-33.
- Cereceda, P., y Schemenahuer, R., 1995.** La percepción de los consumidores de agua potable de nieblas costeras de Chungungo, Chile. En: Revista Geográfica de Chile. Terra Australis. N° 38. pp. 7-18.
- Cereceda, P., 2000.** Los Atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. Revista Medio Ambiente y Desarrollo, Cypma. Vol. XVI, N°4, pp. 51-56.
- Larraín H., Velásquez F., Cereceda P., Espejo R., Pinto R., Osses P. y Schemenauer R.S., 2002.** "Fog measurements at the site Falda Verde North of Chañaral compared with other fog stations of Chile". En: Atmospheric Research, Volume 64, Issues 1-4, pp. 271-284. (USA).
- López, J.E., Canto, W., y Meneses, R., 1989.** Construcción de Atrapanieblas. IPA La Platina N° 56. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. pp. 44-47.
- Schemenauer R. and Cereceda P. 1994.** "A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions". Reprinted from Journal of Applied Meteorology, Vol. 33, N°. 11, November. American Meteorological Society.
- Schemenauer R. and Joe P., 1989.** "The Collection Efficiency of a Massive Fog Collector". Atmospheric Research, 24, pp. 53-69.
- Soto, G., 2011.** Captación de agua de las nieblas costeras (camanchaca). En: Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y El Caribe. F.A.O. Santiago, Chile. pp. 131-139.

CISTERNAS DE FERROCEMENTO: TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

David Mora López | *Néstor Jiménez Silva*
Jorge Carrasco Jiménez | *Patricio Abarca Reyes*

Para la captación o cosecha de aguas lluvias desde los techos de las viviendas u otras estructuras similares, se requiere instalar un mecanismo de colecta y conducción de ellas, que se realiza mediante canaletas y tuberías que la conducen a un depósito acumulador. Así, la cantidad de agua que se logre acumular dependerá de la precipitación de la zona, de la superficie de captación disponible, y de la capacidad del sistema de acumulación.

Para el almacenamiento del agua captada existen diversas alternativas tecnológicas, de las cuales, las más comúnmente utilizadas son los estanques de plástico polietileno, cisternas móviles, las cisternas de ferrocemento, y otros.

En este capítulo, se describe el uso y construcción de cisternas de ferro cemento, tecnología adecuada para la acumulación de agua, que permite a la agricultura familiar campesina satisfacer las demandas de uso doméstico o de la producción de cultivos en huertas familiares o invernaderos. Esta técnica, se recomienda para áreas con problemas de acceso a las fuentes naturales de agua. Estas estructuras poseen una mayor capacidad de acumulación de agua y mejor calidad higiénica de ellas, en comparación con otras alternativas, lo cual representa una ventaja.

El término ferrocemento, fue patentado el año 1855 por el francés Joseph Louis Lambot, y corresponde a un material similar al hormigón en el que se elimina la grava o gravilla, en lugar de reforzarlo sólo con barras de fierro estriado (tiras). Se utilizan varias capas de malla de alambre delgado, como malla hexagonal o de gallinero, malla electro soldada o acma, y algunas unidades de fierro, formando un entramado que se recubre con la mezcla de cemento, arena, y agua (mortero), lo cual presenta ventajas en la construcción de estructuras especiales de un espesor que va de los 6 a 8 cm, donde la geometría de la cisterna con forma de cilindro le otorga una rigidez y resistencia adecuada para la acumulación del agua.

Al no emplear grava o gravilla, la mezcla cemento-arena-agua de consistencia pastosa, puede adherirse fácilmente al entramado de mallas, recubriéndola sin el uso de molduras, resultando así un sistema artesanal muy ventajoso para la construcción de una cisterna y donde un albañil de cierta experiencia puede sin mayores problemas llegar a construirla.

Las cisternas de ferrocemento pueden ser de forma cilíndrica, esférica, o cúbica. Permite almacenar agua de las diversas fuentes existentes, como norias, vertientes, e incluso de lluvias. El agua así almacenada, puede ser usada en la producción agrícola, para agua de bebida animal e incluso humana, en períodos de escasez de este vital elemento.

1. VENTAJAS DE LAS CISTERNAS DE FERROCEMENTO

Las cisternas de ferrocemento poseen algunas ventajas y desventajas que se deben considerar al momento de implementarlo.

Las ventajas de dicho sistema son:

- Permite acumular un mayor volumen de agua, y de una mejor calidad, en comparación con otros sistemas de acumulación, como lo son los estanques de material plástico.
- Al ser un sistema cerrado, existe menor riesgo de contaminación por microorganismos. Además mantiene el agua más fría, comparándola con otros sistemas de acumulación.
- Si se tienen los cuidados necesarios en la colecta, el agua acumulada es más limpia y puede usarse para consumo humano.
- Al ser más resistente su estructura, tiene una mayor duración en el tiempo.

Por otra parte, la desventaja que ofrecen las cisternas de ferrocemento, es el tener un costo mayor en relación a los estanques de polietileno, dado por los materiales requeridos (fierro, cemento, y arena), como también por los requerimientos de mano de obra para su construcción. Lo anterior, se transforma en la principal limitante para familias de escasos recursos económicos.

2. CONSTRUCCIÓN DE UNA CISTERNA DE FERROCEMENTO

2.1. Selección del sitio de construcción

La selección del terreno sobre el cual se construirá la cisterna, es de suma importancia. Es por ello que se deben tener ciertas consideraciones, señaladas a continuación.

Las cisternas de ferrocemento pueden construirse a nivel superficial o semienterradas. Sin embargo, lo recomendable es que deben ir semi enterradas.

En ambos casos, la obra se deberá ubicar en un terreno firme, evitando áreas susceptibles a encharcamientos o con suelo suelto.

Con el propósito de ahorrar en tuberías de conducción, sobre todo cuando el objetivo principal es cosechar aguas lluvias, la cisterna no debiera quedar alejada del área de captación, como es el techo colector de agua o alguna superficie que reúna la mayor parte del escurrimiento.

Dependiendo del volumen que se desea almacenar, se deben tener en consideración las siguientes cuestiones relativas a su construcción:

- Para cisternas de ferrocemento con capacidad entre los 10.000 y 12.000 litros, lo recomendable es que deben quedar semi enterradas en, a lo menos, $1/3$ de su altura. Parte de su construcción debe quedar bajo el nivel del suelo, con lo que se reducirá el riesgo de ruptura, ya que sus paredes se apoyan en el suelo excavado, equilibrando así las presiones del agua de la cisterna (hacia afuera) con el empuje del suelo hacia dentro de ella.
- Si se trata de acumular un volumen de agua sobre 12.000 litros, en lo posible las cisternas deben quedar enterradas a $1/2$ de su altura, con lo cual existirá una mayor superficie de ella apoyada en el suelo excavado, reduciendo así riesgos de ruptura de la estructura, por exceso de presión del agua acumulada en el interior de ella. Cisternas sobre 15.000 litros de capacidad, deben quedar enterradas a $3/4$ de su altura.

Fuera de lo ya expresado se debe considerar además el que Chile es un país sísmico, y donde cada cierto tiempo se encuentra expuesto a movimientos telúricos habitualmente por sobre los 3 a 4 grados en la escala de Richter, lo cual podría eventualmente afectar la estructura de la cisterna de ferrocemento. Esto refleja la importancia de construirlas en forma semi enterradas o enterradas, porque de esa forma pueden resistir en mejor forma, los embates de la naturaleza.

2.2. Diseño

Para el diseño de una cisterna de ferrocemento, se recomienda que su construcción posea una estructura cilíndrica monolítica. La razón del diseño en forma cilíndrica de estas cisternas es simple. La curvatura de la pared evoca la forma del recipiente más resistente de la naturaleza: el huevo. Su resistencia no radica en el espesor del cascarón, sino en su forma. Con este diseño, se aprovechan las cualidades mecánicas del mismo, como es su gran resistencia a la presión del agua acumulada en su interior, considerando el bajo espesor de las paredes (6 a 8 cm). Además, esta forma geométrica permite tener una mayor capacidad de almacenamiento, ya que cuenta con menos superficie que otro tipo de forma, lo que la hace a su vez más económica (**Figura 1**).



Figura 1. Cisterna de ferrocemento de 10.000 litros de capacidad.

La cisterna debe tener una entrada de agua y una tapa metálica (Figura 1) en su parte superior. Ello, para que pueda entrar una persona a realizar las labores de mantención necesarias. Debe tener una salida de agua ubicada a 40 cm del piso, para que la cisterna siempre tenga agua en su interior, evitando así el vaciado completo de ella.

Para determinar las dimensiones de una cisterna de ferrocemento, se recomienda lo siguiente:

- 1) Se deben definir los objetivos del proyecto en relación al uso del agua, y así calcular la demanda durante su periodo más deficitario.
- 2) Es necesario calcular el potencial de captación de agua, en función de las precipitaciones de la zona y del área de captación disponible.
- 3) Se debe considerar la superficie adecuada para ubicar la cisterna y la altura máxima del depósito, tomando en cuenta que la altura del techo de captación de aguas lluvias debe siempre ser mayor.

Con los parámetros recién indicados, se puede diseñar el tipo de cisterna más apropiado para las condiciones específicas de cada lugar y uso del agua.

El diámetro y la altura de la cisterna son variables, dependiendo de la cantidad de agua que se quiera almacenar. A continuación, se presenta la fórmula necesaria para realizar, en forma simple, el cálculo de volumen del cilindro:

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi \times r^2 \times h$$

(que corresponde al volumen de la cisterna)

Donde:

π = 3,14 (constante pi)

r^2 = radio del cilindro al cuadrado (m²)

h = altura del cilindro (m)

Ejemplo 1.

Si se quiere construir una cisterna de 10.000 litros de capacidad, entonces se deberá definir la altura y el diámetro interno de la cisterna. La altura será de 1,5 metros y el diámetro de 3 metros (el radio corresponde a la mitad del diámetro), al aplicar la fórmula y reemplazar se tiene:

Volumen del cilindro = $3,14 \times 1,5^2 \times 1,5$

Volumen del cilindro = $3,14 \times 2,25 \times 1,5$

Volumen del cilindro = $10,597 \text{ m}^3$

Con dichas dimensiones, la cisterna podrá acumular 10.597 litros. Sin embargo se deberá considerar 40 cm de altura extra como corona en la estructura de ella. Esta corona, corresponderá al techo de la cisterna.

2.3. Trazado y nivelación del terreno

Tanto en el trazado como en la nivelación del terreno escogido para la construcción de la cisterna, se utilizarán diversas herramientas y materiales, de los que se deberá disponer antes del inicio de estas labores:

- 5 estacas de 1,5 m de largo.
- 2 estacas de 30 cm.
- 5 metros de manguera de nivelación (translúcida).
- Picota o chuzo.
- Pala.
- Huincha métrica.
- Cuerda de nylon.

a. Trazado

Una vez que se ha definido el sitio y se ha despejado, se procede a realizar el trazado de la circunferencia que ocupará la base de la cisterna, para lo cual se utilizará una estaca central donde se amarra una lienza de longitud igual al radio de la circunferencia considerada, agregando 20 cm más que el diámetro de la cisterna que se construirá. En el otro extremo, se amarra una segunda estaca, la cual se utiliza para marcar la circunferencia a modo de compás (**Figura 2**).

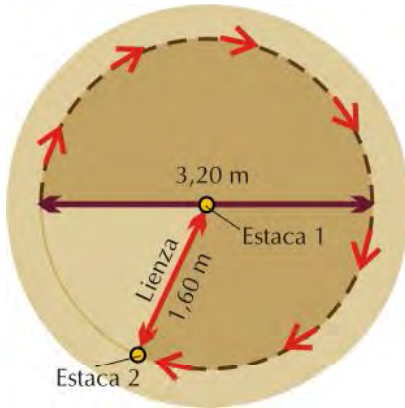


Figura 2. Trazado del sitio para la construcción de la cisterna

Para trazar el círculo, se debe dividir el diámetro (3,2 m) de la cisterna en dos con el fin de obtener el radio de 1,60 m. A continuación se clava una estaca de 30 cm en el punto central donde estará ubicada la cisterna, y se ata en ella una lienza de 1,60 m. En el extremo opuesto de la misma, se amarra otra estaca de 30 cm, con la cual se marcará la circunferencia a modo de compás, cuidando que la lienza este tensa en todo momento (Figura 2).

b. Nivelación

Una vez trazada la circunferencia se procede a nivelar el terreno para construir la base de la cisterna, de la siguiente manera:

- 1º Se deben clavar las 4 estacas de 1,50 m, en torno al trazado de la circunferencia de la siguiente forma (**Figura 3**).



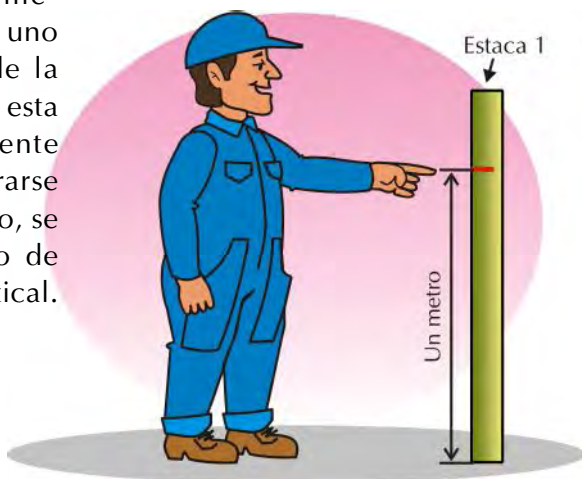
Figura 3. Esquema del trazado y la postura de estacas, para la nivelación del terreno

2º En la estaca que se encuentre en el lugar más bajo del sitio elegido para construir la cisterna, se mide 1 m desde el suelo hacia arriba, marcando la estaca con un lápiz de grafito. Posteriormente se buscará el nivel de las otras 3 estacas con una manguera de nivel.

La manguera de nivel, es un instrumento de trabajo que se utiliza para determinar niveles, usando el principio de física de los vasos comunicantes. Este principio establece que cualquier recipiente sujeto a la misma presión atmosférica, alcanza exactamente el mismo nivel en sus superficies. Es necesario contar con un tramo de manguera translúcida de unos 5 metros de longitud, el cual se llena casi en su totalidad, conectándolo a una llave de agua. Se debe verificar que el agua no contenga burbujas o basura, ya que esto puede modificar su funcionamiento. Esta se traslada hacia los puntos que se desea comparar el nivel, y para ello se obstruyen completamente los extremos de la manguera.

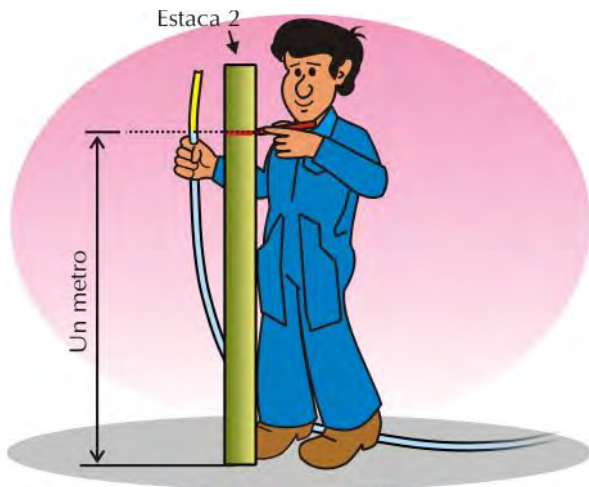
Procedimiento para la determinación de niveles

Para determinar un nivel, primero se marca un punto, en una estaca 1, que sirve como referencia a todo el proceso de nivelación, requiriéndose al menos dos operarios, uno en cada extremo de la manguera y sin que esta quede completamente tensa. Debe procurarse que en cada extremo, se disponga un tramo de ella en posición vertical.





Donde se encuentra la marca inicial, se coloca el plano vertical de la manguera con unos 20 o 30 cm arriba de la marca. El operador del otro extremo (estaca 2), realiza el mismo proceso, aunque no dispone de marca. En ese instante se dejan libres los extremos y el agua tratará de alcanzar su nivel natural.



El operario de la marca, le indicará al segundo que mueva la manguera hacia arriba o hacia abajo, hasta que el menisco coincida con la marca inicial. Y en ese momento, el segundo operario, marca la misma altura, habiendo trasladado el nivel.

El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario.

3º En las marcas hechas en las estacas, se amarra una cuerda de nylon (llamada línea maestra). La cuerda tiene que cruzar el sitio y después hacer un cuadrado alrededor de las 4 estacas. (Figuras 5 y 6).

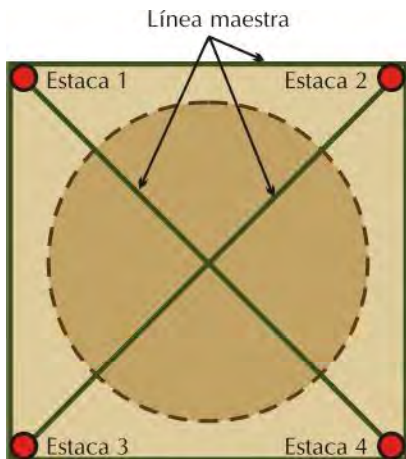


Figura 5. Esquema del trazado y postura de lienza a través de las estacas para la nivelación del terreno.

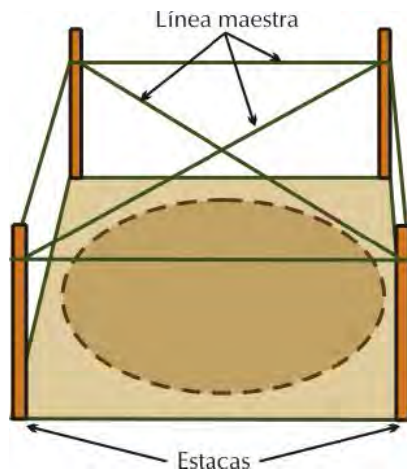


Figura 6. Postura de estacas y línea maestra para nivelación del sitio.

4º Luego, se debe realizar una marca a una estaca a 1 m (Figura 7), la cual se utilizará para recorrer las líneas maestras, utilizándolas como guía para determinar donde se tiene que quitar tierra para nivelar el sitio. Se debe remover el suelo hasta que coincida la marca de la estaca con la línea maestra (Figura 8). Usar picota, chuzo, y pala para nivelarlo correctamente.

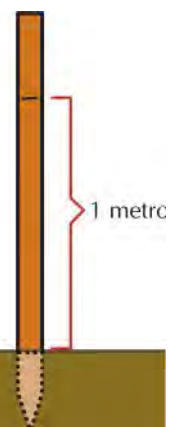


Figura 7. Estaca utilizada para corroborar el nivel del suelo con respecto a las líneas maestras.

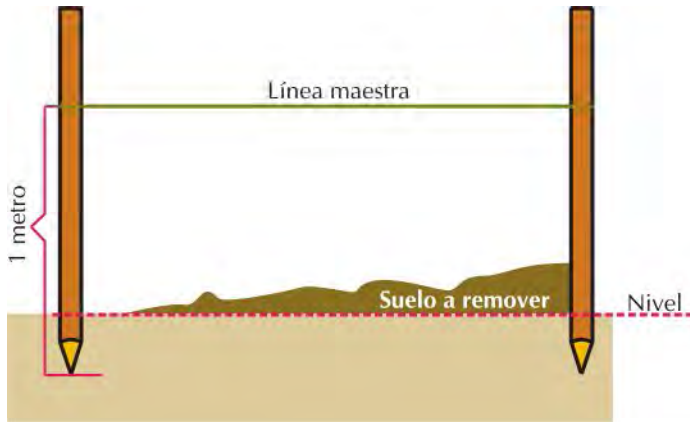


Figura 8. Esquema del método para nivelar el sitio de construcción de una cisterna de ferrocemento.

2.4. Construcción del cimiento y la base de la cisterna

Materiales y Herramientas:

- Pala.
- Chuzo o picota.
- 1 malla acma (2,5 m x 5 m).
- 2 barras de fierro estriado A44-28H de 8 mm de diámetro.
- Napoleón o esmeril Angular.
- 1 m³ de ripio.
- 1 m³ de arena fina.
- 6 sacos de cemento.
- 9 litros de impermeabilizante para morteros.

Procedimiento:

Una vez nivelado el sitio, aplicando la metodología descrita en el punto anterior, se procede a realizar la excavación para la construcción de los cimientos y la base de la cisterna, como se detalla a continuación:

Posterior a la nivelación del sitio, se procede a realizar la excavación para los cimientos de la cisterna, para lo cual se cava una zanja de 20 a 30 cm de ancho, desde afuera hacia adentro de la circunferencia trazada con anterioridad, con una profundidad de 30 cm. Se debe procurar que la circunferencia interna quede 10 centímetros por debajo del nivel del suelo (Figura 9, 10 y 11).

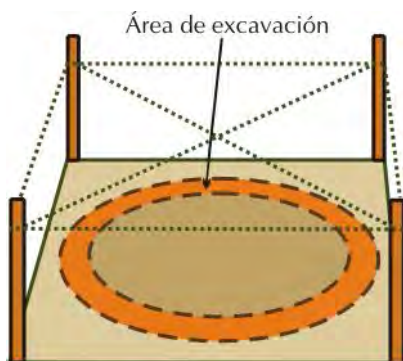


Figura 9. Esquema de la excavación para la cimentación.

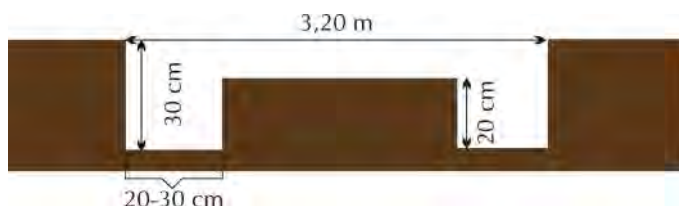


Figura 10. Vista en elevación de la excavación a realizar para la cimentación de la cisterna .



Figura 11. Excavación para la cimentación.

Una vez realizada la excavación, ésta es rellena con ripio hasta el nivel determinado (**Figura 12**), el cual debe ser compactado en toda la superficie. Previamente se deben colocar verticalmente, a nivel de la zanja cavada, fierros estriados ($\varnothing = 8$ mm) de 1,2 m. de longitud en forma de "L" (para que sujete al suelo) (**Figura 13**), denominados "espárragos", los cuales servirán para amarrar el radier y el armazón que le dará sostén a la cisterna.



Figura 12. Detalle del relleno de la excavación para la cimentación.



Figura 13. Emplazamiento de espárragos e inicios del relleno de la excavación.

Luego de compactar e instalar los "espárragos", se corta la malla acma a la medida de la circunferencia, amarrándola a las varillas de fierro, colocando previamente la tubería de descarga (**Figura 14**). El resto de malla sobrante se utilizará en la construcción de la tapa para la cisterna.



Figura 14. Instalación de la malla acma y la tubería de descarga.

Finalmente, se procede a rellenar con mezcla de cemento, agua, y arena (mortero de cemento) la superficie compactada con ripio en una proporción de 1 : 2 (una medida de cemento por dos medidas de arena), no olvidando adicionar el impermeabilizante al agua para la mezcla en una proporción de 1 : 10 a 1 : 15 (un litro de impermeabilizante en 10 ó 15 litros de agua), formando una losa de 10 cm de espesor (**Figura 15**) y cuidando de cubrir previamente la salida de la tubería para no rellenarla con el mortero o mezcla de cemento, agua, y arena.

Figura 15.
Base de la
cisterna nivelada
y construida con
una mezcla de
cemento, arena,
agua e imper-
meabilizante.



Esta labor, también puede realizarse inmediatamente después que se define la formación de la estructura del cilindro de la cisterna, pero puede resultar más complicada la aplicación de la mezcla de cemento.

2.5. Formación y revestimiento del cilindro de la cisterna

2.5.1. Formación del cilindro de la cisterna

Una vez formado el cilindro, éste se refuerza por ambas caras con malla acma. De manera opcional, la parte inferior del cilindro se puede reforzar con malla de harnero por su cara interna (Figura 16), para finalmente ser revestida con una mezcla de cemento y arena con impermeabilizante.



Figura 16. Formación del cilindro de la cisterna, utilizando una estructura con hierro estriado diámetro 8 mm.

Para calcular la longitud de la malla acma a utilizar, se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{Perímetro} = 2 \times \pi \times R$$

Donde:

$$\pi = 3,1416$$

R = radio de la circunferencia

Ejemplo 3.

Continuando con el ejemplo, para una cisterna de 10.000 litros de capacidad, la cual requiere de un diámetro de 3 m (radio de 1,5 m), para lograr ese volumen de agua acumulado.

Aplicando la ecuación, se obtiene el perímetro de la misma.

Perímetro de la circunferencia = $2 \times 3,1416 \times 1,5$ m.

Perímetro de la circunferencia = 9,42 m.

Entonces, el perímetro de la circunferencia requerido para una cisterna de 10.000 litros de capacidad, corresponde a 9,42 m, por lo tanto la malla acma debe poseer dicha longitud. Sin embargo, se debe considerar como mínimo 30 cm (40 veces el diámetro de la malla) adicionales de traslape, entre las mallas que se unirán entre sí.

Una vez construido el esqueleto de la cisterna, la malla acma se cubre con malla de gallinero por ambos lados, como se observa en la **Figura 17**. Esa disposición de ambos tipos de malla, facilita

Figura 17.
Estructura del cilindro, incorporando malla acma y malla de gallinero.



en la pared de la cisterna la aplicación del mortero de cemento, además de darle una mayor resistencia a la misma, para soportar la carga y presión de agua en el interior de ella.

Nota: se debe considerar amarre entre malla y malla gallinero con alambre negro N° 18 y para todos los traslapes de enfierradura.

De manera opcional se puede instalar una malla de harnero en la parte inferior del cilindro por su cara interna, previo a la construcción del radier, de tal forma que la malla de harnero quede dentro del radier y cubra parte de la base del cilindro (**Figura 18**). Para lo cual, se debe montar el cilindro sobre la base, previo al relleno con la mezcla de cemento.



Figura 18. Cilindro de la cisterna reforzada en la base con malla de harnero.

Al momento de unir la malla de gallinero por ambos lados de la estructura de la cisterna, los hexágonos de ella no deben coincidir al superponerse entre sí, es decir, deberán cruzarse por la mitad para reducir los espacios libres, posteriormente se tensará esta malla realizando cuatro amarres al interior de los cuadros de la

mallas acma, entre las dos capas de malla de gallinero, formando así un tejido, que es muy importante porque le dará firmeza a la estructura del cilindro (**Figura 19**).



Figura 19. Detalle del recubrimiento de la malla de gallinero.

La solidez de la estructura depende de un buen tejido que debe ser realizado siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se debe cortar la malla acma considerando los dobleces y empalmes. Para el caso del tanque de 10 m³ (10.000 litros) propuesto, con un diámetro de 3,0 m y altura de 1,8 m se requiere una malla acma de 2,5 m de ancho (20 cm de doblez para cada lado) y un largo de 10 m para construir la pared del cilindro (considerando 30 cm de empalme en cada lado).
- En el lugar donde se ubicará la cisterna, se debe construir un cilindro (tubo) con la malla acma y se van entretejiendo los puntos de empalme de ella (**Figura 20**).
- Se deben realizar los dobleces hacia dentro de la parte superior e inferior del tubo o cilindro.



Figura 20. Detalle del empalme en la malla acma.

- Se hace necesario cortar cuatro tramos de malla de gallinero de 1 m de ancho por 10 m de largo.
- Se debe rodear con malla de gallinero el cilindro de malla acma comenzando desde la base doblada, tanto por fuera como por dentro, teniendo la precaución que los hexágonos queden sobrepuestos o desfasados como se observa en la Figura 20.
- Se necesita sujetar la malla de gallinero a la malla acma, en los cruces de cada varilla, utilizando alambre negro N^o 18. Para sujetar la malla de gallinero, solamente se tuercen los alambres de la malla gallinera en medio de cada cuadro, logrando así que queden sujetas a la malla acma (**Figura 21**).

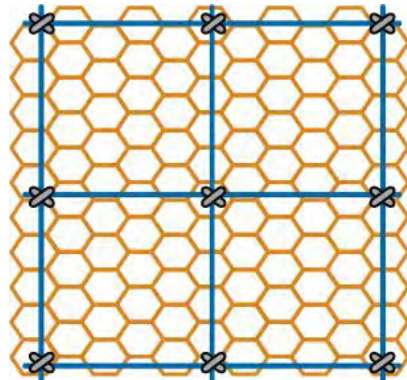


Figura 21. Detalle de la forma de sujeción de la malla de gallinero a la malla acma

Finalmente una vez armado el cilindro, con las mallas fijadas a su alrededor, se procede a revestirlo con la mezcla de cemento, arena, y agua (**Figura 22**).



Figura 22. Estructura de la cisterna terminada, para el revestimiento con la mezcla de cemento, arena, y agua.

2.5.2. Revestimiento (moldajes)

Una vez terminado el cilindro con las mallas fijadas a su alrededor, se procede a revestirlo por ambas caras, con una mezcla de cemento impermeabilizado. Los materiales y herramientas a utilizar son:

Materiales y Herramientas:

- Martillo.
- Pala.
- Llana.
- Balde concretero.
- 6 planchas de Cholguán.
- 30 tablas de tapa de 1 x 4".
- 2 kg de clavos de 3".

- 10 sacos de cemento.
- Betonera.
- 2 tinetas de impermeabilizante para cemento (cave o sika).
- 1,5 m³ de arena fina.

Procedimiento:

El primer paso, antes de comenzar a revestir las paredes de la cisterna con la mezcla, es fabricar la “cimbra”, estructura o armadura de cubierta que sirve de base para la construcción de arcos, bóvedas y otras estructuras. Se quita, cuando la mezcla o mortero se haya secado.

La cimbra, proporcionará la firmeza al momento de aplicar la mezcla, además de servir como guía para conseguir la verticalidad de las paredes, y con ángulos de exactamente 90°, para lo cual se deben fabricar las escuadras (20 aproximadamente) que mantendrán las paredes rígidas y verticales.

Una vez hechas las escuadras, se procede a instalar planchas de madera Cholguán, por el interior del cilindro, las que son fijadas por medio de alambres. Posteriormente dichas planchas se instalan, procurando mantener la verticalidad de las paredes (**Figura 23**).



Figura 23.
Instalación de la cimbra, para el revestimiento de la cisterna.

Posteriormente, cuando la cimbra se encuentra instalada completamente, se procederá a la aplicación de la mezcla de cemento (mortero), más un aditivo impermeabilizante.

Considerar recubrimiento interior y exterior de 1 a 1,5 cm de cimbra o moldaje (con enmallado) a través de separadores plásticos o de mortero.

El mortero recién preparado, se vierte en una tabla para evitar que aquél se mezcle con polvo u otros contaminantes. Además, la tabla permite recoger el mortero que cae de las paredes durante el extendido.

El mortero se aplica a mano en las paredes de la cisterna con la ayuda de llanas o espátulas para el extendido, en capas no mayores de 1 cm. Capas demasiado gruesas, no funcionan y tienden a desprenderse en el proceso de aplicación de la mezcla.

La aplicación del mortero se hará comenzando por la pared exterior, procurando en lo posible aplicar toda la mezcla en un solo día, con el objeto que el fraguado de la mezcla de cemento en la pared sea homogéneo (**Figura 24**).



Figura 24.
Aplicación de la primera mano de la mezcla de cemento exterior.

Después de hecha la mezcla, el mortero debe ser aplicado rápidamente. Si transcurre más de 30 minutos, éste deberá ser utilizado para la losa de cimentación o se debe tirar, porque el cemento pierde rápidamente sus condiciones de adherencia, cuando la mezcla se deshidrata. En ambientes calurosos, hay que cubrir la mezcla con un saco húmedo o un polietileno negro, para evitar el secado rápido.

Las recomendaciones a seguir para la aplicación del mortero son las siguientes:

- Con la cuchara de albañil, colocar un poco de mezcla en la llana y “untarla” en el cuerpo de la cisterna. Nunca azotarla.
- La mezcla debe cubrir completamente la malla (**Figura 25**).
- Es recomendable iniciar temprano este trabajo, para terminar en un día todo el exterior, y así asegurar que el fragüe sea regular y uniforme.
- Cuando fragüe la mezcla, se retira la cimbra cortando los alambres.
- No deben quedar alambres descubiertos, porque estos al oxidarse, generan espacios que permiten fugas de agua.



Figura 25.
Mezcla aplicada cubriendo totalmente la malla.

Una vez que se ha retirado la cimbra, se procede a revestir el cilindro de la cisterna, con dos capas de mortero, tanto por dentro como por fuera de ella. Se completa primero una capa, y terminada ésta se procede a realizar la segunda, es decir alternando entre una y otra para permitir que el mortero o mezcla de cemento, fragüe. Se debe considerar que las últimas capas de mortero, ya sean internas o externas, deben quedar lo más lisas posible, para lo cual se debe ir recorriendo la superficie con la llana de madera o platacho.

En esta etapa del trabajo de construcción de la cisterna, es necesario dejar un “rebalse” a la altura de la pared, orientado hacia un lugar donde el agua excedente pueda escurrir rápidamente (**Figura 26**).



Figura 26. Detalle del rebalse ubicado en la parte superior de la cisterna.

Después de haber aplicado el mortero a las paredes del tanque, debe cubrirse con un polietileno negro o sacos húmedos. Si el mortero recién colocado en las paredes de la cisterna queda expuesto directamente al sol o al viento, va a perder rápidamente el agua, por lo cual, se va a producir una retracción violenta de la

mezcla (entre 4 y 12 hr.), con lo cual su resistencia final y durabilidad se verá reducida. En el peor de los casos, se puede llegar a producir la rotura de las paredes de la cisterna, lo que originará pérdidas de agua e incluso el colapso total de la estructura de concreto, acabando con su rompimiento.

2.6. Curado del concreto

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto (humectado), de una estructura determinada, hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua, sean reemplazados por los productos de la hidratación y fragua del cemento. Con el curado se busca controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia el interior y hacia fuera del concreto. Busca también evitar la retracción de fraguado, hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta.

En ambientes muy calurosos, la cisterna debe cubrirse con polietileno negro, e incluso con sacos húmedos, entre las sucesivas aplicaciones de capa y capa de mortero. En condiciones de temperatura más cálidas, el tanque de la cisterna se deja abierto hasta haberse aplicado la última capa y luego se cubre durante una semana o más para el curado. El mortero tardará al menos un mes (28 días) en alcanzar una resistencia próxima a su resistencia final y durante los primeros días estará lo suficiente “manipulable” como para cortarlo y colocar un tubo u otro elemento.

El curado es absolutamente esencial para lograr cisternas resistentes, y es una de las etapas más importantes para su construcción.

Una vez terminadas las paredes de la cisterna, se procede a construir la cubierta de la misma.

2.7. Construcción de la cubierta o techo de la cisterna

Cuando las paredes de la cisterna se encuentran terminadas, se procede a la construcción de la cubierta o techo de ella, la cual debe ser de forma convexa y con barras de fierro, para que la estructura pueda resistir en mejor forma el peso del revestimiento que se le proporcionará.

Materiales y herramientas:

- Alicates.
- Martillo.
- Cuchara de albañil.
- Huincha de medir.
- Planas.
- Palas.
- Baldes.
- 12 Tablas 1 x 4".
- Malla acma.
- 10 m. de malla de harnero.
- Alambre recocido N° 18.
- Clavos 3".
- 6 barras de fierro A-44-28H de diámetro 8 mm.
- 1 m³ de arena.
- 3 sacos de cemento.
- Soldadura tipo 7018 3/32.

Procedimiento:

Se forma un esqueleto de forma convexa con barras de fierro de diámetro N° 8 mm, las cuales cruzan la cisterna en su parte superior, desde un extremo a otro, quedando fijas al fierro ubicado en la parte superior de las paredes, por medio de soldadura (**Figura 27**).



Figura 27. Detalle de la soldadura de los arcos para la cubierta.

Es necesario dejar habilitado un acceso, en la parte superior de la cisterna, para realizar las labores de mantenimiento de ella en su interior, por lo cual, en la estructura, se ubicarán dos barras de fierro Nº 8 en forma paralela, para dejar un espacio de acceso a la cámara interna (**Figura 28**). Las demás barras Nº 8, se ubicarán formando un arco, de manera tal que cubran la superficie de la cubierta.

Posteriormente, se cubrirá en su totalidad la parte superior de la estructura con malla "acma", y encima de esta se instalará malla de harnero para facilitar posteriormente la adherencia del mortero, una vez que comience a aplicarse la mezcla.

Barras de fierro estriado diámetro 8 mm

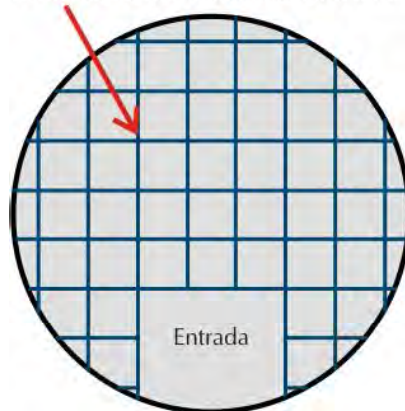


Figura 28. Vista en planta de la estructura de fierro que dará origen a la cubierta de la cisterna.

En el fondo de la cisterna por la orilla, en el punto donde se une la pared con el piso, se aplica un mortero (mezcla de cemento, arena y agua), para reforzar este punto donde la cisterna recibirá la mayor presión de agua acumulada.

Posteriormente, se aplanan el interior de la cisterna con una mezcla de cemento y arena fina. Es importante, que todas las piezas metálicas, como alambres y restos de la malla, queden completamente cubiertos por la mezcla de cemento y arena (mortero).

Terminado lo anterior, tanto por dentro, como por fuera, se aplanan nuevamente la cisterna, pero en esta ocasión con dos capas de una mezcla de agua y cemento (la segunda capa de terminado o aplanado "fino"). Terminadas la tarea de "aplanado fino", se pinta el interior de la cisterna con una lechada de cemento, y una vez seca, se debe aplicar una pintura asfáltica, especial para impermeabilizar estanques o contenedores que estén en contacto con el agua, las cuales son fáciles de obtener en el comercio local.

Las barras de fierro diámetro 8 mm deben formar un arco por sobre la cisterna. Se considera que un arco por sobre 30 cm de la pared, es suficiente para dar la rigidez suficiente para que la cubierta soporte el peso del concreto. Posteriormente, se cubrirá la estructura en su totalidad con malla acma, y sobre ella se colocará malla de harnero para facilitar la adherencia del mortero, evitando así pérdidas de material por escurrimiento del mismo en estado fresco (**Figura 29**). Esto debe quedar amarrado mediante alambre recocado.

Una vez terminada por completo la estructura de la cubierta, bajo ella se procede a instalar puntales de madera de pino de 2 x 2 pulgadas, que darán resistencia en el sostén de ella, para soportar el peso inicial de la mezcla húmeda de cemento más arena, al momento de ir revistiendo con mezcla la cubierta por el exterior. Esos puntales se mantienen, y se retiran hasta que la estructura de la cubierta esté seca.



Figura 29. Detalle de la cubierta de la cisterna, con fierro y malla en su estructura



Figura 30. Cubierta de la cisterna, con fierro y malla en condiciones para ser revestida con la mezcla de cemento, arena, y agua.

El revestimiento de la cubierta de la cisterna, se comienza desde los extremos inferiores hacia el centro y parte superior de la cubierta (**Figuras 31 y 32**).

Una vez finalizado el revestimiento de la cubierta se debe dejar curar la mezcla, por lo cual se recomienda, en forma posterior al término de la obra, mojar con agua la estructura 2 veces al



Figura 31. Revestimiento de la cubierta. Obsérvese, que este se inicia desde la parte inferior de ella, y se continúa hacia arriba.



Figura 32. Cisterna terminada, con el trabajo de aplicación de mezcla en la cubierta.

día durante la primera semana. De igual forma, se recomienda evitar que la cisterna quede expuesta a los rayos del sol, por lo cual se debe cubrir con polietileno negro o sacos húmedos. Esto con el fin de evitar agrietamientos por efecto de la retracción y temperatura ambiental.

Por otro lado, en el caso que existan vientos de alta intensidad y la mezcla esté fresca, se recomienda cubrir la cisterna, con una lona o polietileno, tratando de evitar el efecto deshidratador del viento contra las paredes de ella, evitando así posibles agrietamientos en la superficie.

Si se llegan a producir filtraciones, se puede utilizar una pintura asfáltica (tipo Igol primer), especial para impermeabilizar estanques o contenedores que estén en contacto con el agua, las cuales son fáciles de obtener en el comercio.

2.8. Mantenimiento

Es necesario tener en consideración, que la cisterna no debe estar vacía por más de un mes, para evitar “cuarteaduras” de la estructura. De preferencia debe tener agua hasta el 20% de su capacidad de manera permanente, aunque para limpiar su interior es conveniente vaciarla completamente, cuando menos una vez al año. La limpieza es recomendable hacerla a fines de otoño, previo a la nueva temporada de lluvias, y por lo tanto, de colecta y acumulación de aguas lluvias.

Además de las recomendaciones anteriores, es conveniente colocar una malla en el tubo de acceso, para filtrar el agua y evitar que ingresen sólidos a la cisterna. De ser posible se debe instalar un depósito alternativo de menores dimensiones, donde circule primero el agua y se depositen los sedimentos, o en su defecto, desechar el agua de las primeras lluvias.

Las cisternas deben permanecer cerradas para evitar la entrada de luz, y con ello, la proliferación del crecimiento de algas, además de generar evaporación del agua. Es importante limpiar el interior de la cisterna, antes de iniciar una nueva temporada de captación de aguas lluvias.

Es recomendable pintar de blanco el exterior de la cisterna, que incluye el techo. Esto, para reflejar el calor del sol y así evitar el calentamiento del agua acumulada en el interior de ella.

2.9. Instalación de un filtro de agua pluvial

Antes de recibir el agua en la cisterna, se debe instalar un filtro donde se detenga la basura (hojas, ramas, y otros) que pudiera arrastrar el agua desde el techo de captación. Una forma consiste en instalar una malla en el punto de entrada de agua, que va de la canaleta al tubo que baja el agua hacia la cisterna. Lo otro es instalar un filtro, que se encuentran en el mercado a un precio bastante conveniente, en la tubería de bajada del agua.

Antes de cada temporada de lluvias, se debe revisar y limpiar bien los techos de captación de agua. Esto porque de existir árboles próximos, las hojas y pequeñas ramas caídas, pudiesen moverse por efecto de las lluvias y obstruir los puntos de captación del agua colectada.

Cuando se inicia la temporada de precipitaciones, el agua de la primera lluvia se debe dejar correr libremente por los techos, sin colectarla, por un período de 30 minutos, con el fin de lavar las superficies de colecta, de impurezas y restos de fecas de aves que circulan por ellos. Transcurrido ese tiempo, se conecta el sistema de captación y conducción de agua a la cisterna de acumulación. De esta forma, es posible asegurar una captación y acumulación de agua más limpia.

3. COSTOS DE MATERIALES PARA UNA CISTERNA DE FERROCEMENTO

Dimensiones: 3 metros de diámetro y 1,50 metros de altura.
Volumen: 10,6 m³, que permite acumular 10.600 litros de agua.

Cuadro 1. Materiales y costo para la construcción de una cisterna semi enterrada de ferrocemento de 10.600 litros.

Materiales	Cantidad	Precio	Total (\$)	U.F.
Malla acma 15 x 15	3	21.768	65.304	
Malla gallinero (1,2 x 50 m)	1	53.940	53.940	
Arena fina (m ³)	3	22.000	66.000	
Ripio (m ³)	1	20.000	20.000	
Alambre recocido N° 18 (kg)	2	1.450	2.900	
Barra fierro estriado (8 mm)	16	2.295	36.270	
Barra fierro liso (6 mm)	11	1.580	17.380	
Impermeabilizante (18 litros)	3	20.880	62.640	
Cemento	19	4.160	79.040	
Madera prensada (tipo Cholguán)	6	7.670	46.020	
Tablas de tapa 1 x 4"	40	940	37.600	
Madera 2 x 2"	12	760	9.120	
Tubería PVC C 10 (63 mm)	1	13.560	13.560	
Filtro	2	5.680	11.360	
Soldadura (barras)	6	1.260	7.560	
Herramientas (pala, picota, chuzo, martillo, alicate, baldes, cuchara de albañil, huincha de medir, planas, otras).	1	72.600	72.600	
Fletes	2	78.000	156.000	
Arriendo de betonera (día)	3	28.600	85.800	
Arriendo soldadora al arco y máscara (día)	1	14.400	14.400	
TOTAL			857.944	33,5

Nota: los precios considerados, corresponden a ferreterías y barracas del área de secano de la Región de O'Higgins.

Se tomó el valor de la U.F al 30 de noviembre de \$ 25.598,4.

Al costo de materiales del Cuadro 1, además se debe agregar el costo de mano de obra de \$ 480.000 a \$ 500.000, que incluye dos operarios especializados (albañiles) trabajando 3 días, por lo cual el valor total para una cisterna o estanque de ferrocemento, va del orden de los \$ 1.337.944 a \$ 1.357.944 aproximadamente.

4. BIBLIOGRAFÍA

Caballero, T., 2006. Captación de Agua de Lluvia y Almacenamiento en Tanques de Ferrocemento. Primera Edición. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., .128p.

Cruz, L., 2008. Manual de Construcción de Sistemas de Almacenamiento de Agua. Agencia de desarrollo rural. Itagro S.C Consultores. Gobierno del Estado de Guerrero, México, D.F, 6p.

Echeverri D., Lambros, S., 2001. Manual para la construcción de tanques de ferrocemento, para el almacenamiento de agua. Guadalajara, México. 35p.

Morales, V., Ortiz, M., y Aragón, M., 2008. Tanque para el almacenamiento de agua mediante el uso ferrocemento en zonas con condiciones geográficas adversas. En: Naturaleza y Desarrollo, Volumen 6, N^o2, Julio-Diciembre, pp. 45-53.

Santos C., Taveira-Pinto, F. 2013. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. Resources, Conservation and recycling, 7, 1-6.

Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., Ashbolt, S. 2009. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. Journal of Environmental Management, 91(1), 222-226.

SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE AGUA PARA ÁREAS DE SECANO, FOMENTADOS POR EL SIRSD-S

Hamil Uribe C.

1. INTRODUCCIÓN

El secano corresponde a un territorio bajo la influencia del clima mediterráneo, y que en general presenta un alto grado de degradación del suelo por erosión de origen antrópico.

El territorio del secano, desde el punto de vista de los recursos hídricos, presenta un problema de estacionalidad. La oferta de agua ocurre en el invierno, momento que no corresponde con la demanda, que más bien ocurre durante primavera-verano. El suelo, por su alto nivel de degradación, no permite la acumulación de agua para que esté disponible durante el verano. Por ello toma fuerza la idea acumular el agua o extraer el máximo posible de ella, mediante diversos tipos de captaciones que en este caso se denominan *aguadas*. Según el Programa de Recuperación de Suelos Degradados- Sustentables (SIRSD-S), las *aguadas* se clasifican en superficiales, intermedias y profundas.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos pueden ser *superficiales* o *subterráneos*. Estos últimos se pueden separar en *sub-superficiales* y *profundos*, tal como ocurre en la clasificación del SIRSD-S, que distingue entre *aguadas superficiales*, *intermedias* y *profundas*.

Los recursos *superficiales* incluyen los ríos, esteros, lagunas, lagos, etc.

Los recursos hídricos *subterráneos* corresponden a pozos de cualquier tipo que captan agua a distintas profundidades.

Las aguas *sub-superficiales* pueden ser captadas mediante pozos noria, zanjas o punteras, mientras cuando se trata de acuíferos más profundos se requiere construir pozos profundos utilizando máquinas perforadoras apropiadas.

3. CAPTACIONES DE AGUA

Las captaciones de agua son las obras construidas para extraer el agua desde las fuentes de agua, ya sean superficiales o subterráneas. Como se indicó anteriormente, en el SIRSD-S se denominan *aguadas* y distinguen tres tipos: superficiales, intermedias y profundas.

3.1 Aguadas Superficiales

La **Figura 1** presenta los tipos de *aguadas superficiales*. Las tipo I y II corresponden a las definidas en las especificaciones técnicas de del SIRSD-S. En ellas, el agua se acumula principalmente dentro de la excavación. Sin embargo, existen otros tipos de aguas como el tipo III, que tiene ventajas respecto del costo por volumen de agua acumulado ($\$/m^3$). No obstante, requiere de condiciones topográficas particulares que no siempre se cumplen.

En el SIRSD-S las *aguadas superficiales* son definidas como una excavación cuyo objetivo es coleccionar y almacenar agua lluvia o de fuentes superficiales, para disponer de bebida para animales, especialmente en potreros con deficiencia hídrica, permitiendo el uso equilibrado del recurso prático disponible en los distintos potreros del predio.

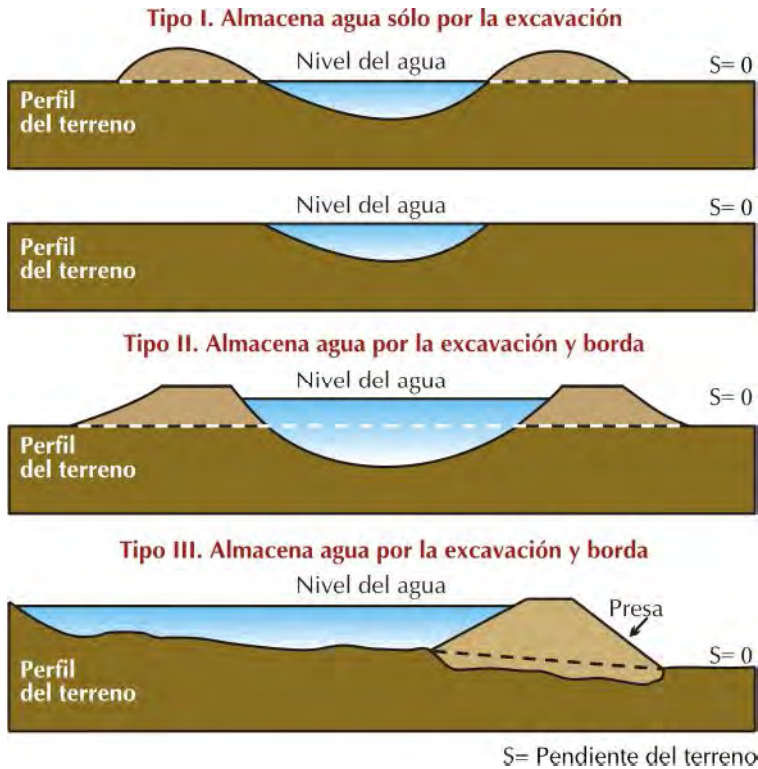


Figura 1. Tipos de *aguadas superficiales*
(Fuente: MAGA; PLAMAR (2.005)).

El volumen unitario corresponde a 180 m^3 .

La *aguada superficial* se dispone con una o más entradas de bordes inclinados con el objetivo de asegurar la estabilidad de las paredes, o bien, se deja en forma de plato.

Para su protección, se sigue usando cercos y bebederos asociados para aumentar su vida útil.

Se debe tener en cuenta la permeabilidad del suelo del lugar de emplazamiento, puesto que el agua podría infiltrarse rápidamente, y así, no sería útil. Por ende, se plantea la necesidad de impermeabilización cuando las condiciones lo ameriten.

Las especificaciones técnicas del SIRSD-S indican que la aguada deberá estar con agua al momento de ser fiscalizada.

Las *aguadas* tipo III son pequeños tranques que cuentan con un muro que debe ser localizado en un angostamiento, generalmente algún estero. La selección del lugar es un aspecto fundamental, ya que se busca tener un mínimo movimiento de tierra y una máxima capacidad de almacenamiento. La relación volumen embalsado a volumen de muro, debe ser en lo posible mayor a 30.

Para el diseño y construcción de un embalse, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Capacidad potencial de almacenamiento de agua para ser ocupada en la temporada de verano.
- Evaluar el material con el que se construirá el muro, considerando los parámetros de resistencia y compactación óptimos, para prevenir problemas estructurales y de filtraciones.
- Cálculo y selección de obras de toma, desagüe y vertedero, adecuados para el buen funcionamiento de la obra.

La **Figura 2** muestra la sección de un muro típico. N_1 y N_2 deben ser mayores a 3 y 2, respectivamente para asegurar una estabilidad de los taludes.

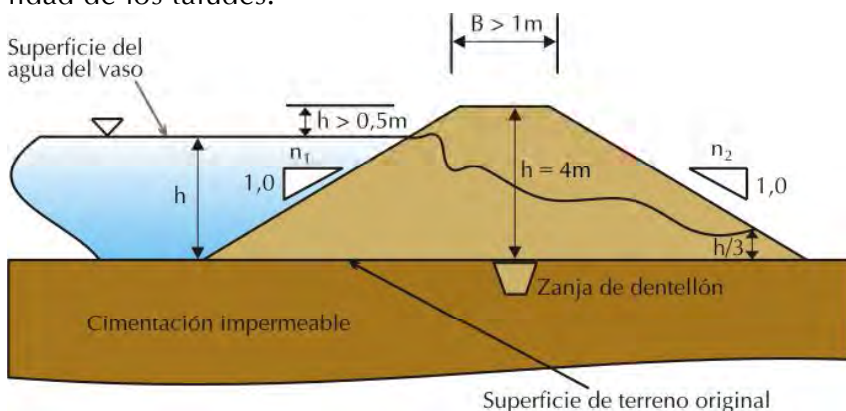


Figura 2. Vista en elevación, de un muro típico de un tranque acumulador de agua.

3.1.1 Disponibilidad de agua de las *aguadas superficiales*

La disponibilidad de agua de las *aguadas superficiales* tiene relación con su capacidad de acumulación y con las pérdidas de agua por filtraciones y evaporación.

Para la cubicación del volumen acumulado, se puede asumir una forma geométrica representativa de la aguada y de acuerdo a ello calcular el volumen. La **Figura 3** muestra una *aguada superficial* tipo I y la forma en que se cubicó su capacidad, asumiendo que tiene forma elíptica en la superficie y fondo.

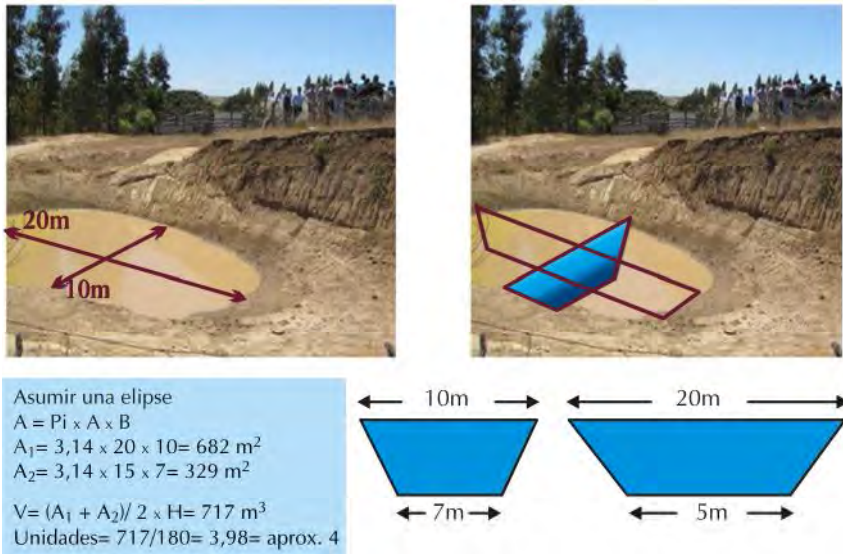


Figura 3. Cubicación de la capacidad de almacenamiento de una *aguada superficial* tipo I.

En el caso de los pequeños embalses la cubicación se debe hacer basada en la topografía del área inundada (**Figura 4**). El cálculo es simple y consiste en calcular el volumen entre cada curva de nivel y luego sumarlas para obtener el total. Bajo la curva de nivel en rojo se puede asumir que corresponde al volumen muerto no útil.

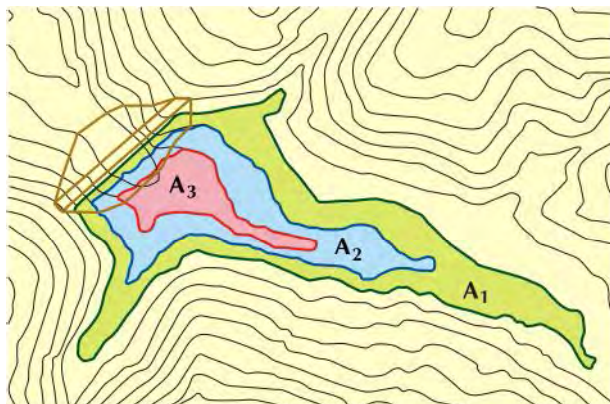


Figura 4. Topografía del área inundada de un embalse. Vista en planta.

$$AT = (A_1 + A_2) \times 0,5 \times EQ + (A_2 + A_3) \times 0,5 \times EQ$$

Donde:

AT es el área total

A₁, A₂ y A₃ son las áreas en verde, azul y rojo.

EQ es la equidistancia o distancia entre las curvas de nivel.

Tanto para las *aguadas* tipo I y II, como para los pequeños embalses, existen pérdidas por evaporación y por filtraciones, las cuales deben ser descontadas al volumen total calculado. Mediciones realizadas por el INIA en pequeños embalses, indican que se pierde una lámina de agua relativamente constante durante la temporada primavera-verano. En verano, cuando las *aguadas* presentan niveles bajos de agua, predomina la evaporación desde la superficie, mientras en primavera, con temperaturas menos extremas pero niveles de agua altos, predominan las filtraciones. En promedio, se observó que las pérdidas fueron entre 7 y 10 mm por día durante la temporada. Si se cuantifica en volumen de agua perdido, en primavera es más alta puesto que el área de la superficie inundada es mayor. En resumen, se puede esperar que más de 1 metro de agua se pierda por las causas antes mencionadas.

3.2 Aguadas Intermedias (Sub superficiales)

Las *aguadas* intermedias, según el SIRSD, se define como la excavación de una noria de un volumen mínimo de 20 m³, con bordes rectos, revestido con madera u otro material, extrayendo agua con algún sistema (motobomba, molino, etc.). Además se debe asociar a ella, un sistema de distribución de agua.

Según la definición anterior, podrá tratarse de una noria propiamente tal, o incluso de *pozos zanjas*. Sin embargo, existen otras alternativas de fuentes de agua que podrían ser incluidas en la clasificación de *aguadas* intermedias, tales como las punteras y pozos de pequeño diámetro de menos de 20 metros de profundidad.

3.2.1 Pozos Noria

Los *pozos noria* (**Figura 5**) son captaciones verticales, cuyo diámetro es alto con respecto a su profundidad. Son una alternativa muy usada en las zonas de secano y otras áreas, puesto que se pueden construir a bajo costo -incluso bastaría el construirlas a mano- y tienen la capacidad de almacenar agua en su interior, lo que no ocurre con los pozos de diámetro pequeño. Esto podría evitar la necesidad de tener estanques elevados, lo que representa un costo adicional.



Figura 5. Pozo noria. Alternativa muy usada en zonas de secano para la extracción de agua.

La **Figura 6** muestra las principales características de un *pozo noria* característico, el cual va entubado. Los *pozos noria* más frecuentes, son revestidos, sea con ladrillos, madera, y/o con tubos de hormigón (**Figura 7**).

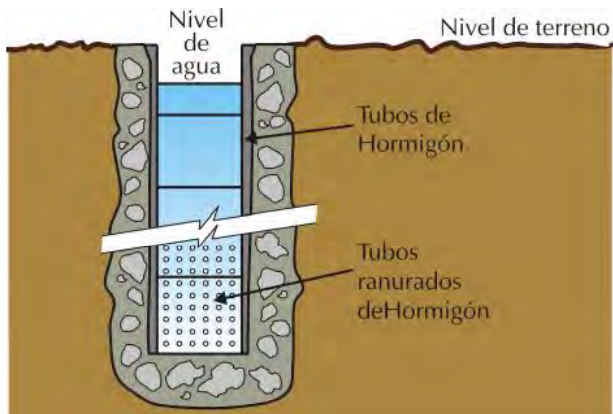


Figura 6. Esquema del corte de un *pozo noria* típico.



Figura 7. Pozo noria revestido con tubos de hormigón.

Un aspecto importante que determina la capacidad de los pozos noria es la conductividad hidráulica (Ks) del terreno alrededor, que es un parámetro que depende del tipo de material del acuífero. Esta característica del suelo no se puede cambiar, pero sí la forma del pozo.

Cuando se construyen se debe tener en cuenta que mientras más profunda sea la lámina de agua desde el nivel freático (nivel del pozo lleno) hasta el fondo del pozo, mayor será el caudal posible de extraer.

Para lograr una buena perforación se debe contar con bombas adecuadas, las cuales deben en lo posible ser sumergibles, y de tipo loderas y eléctricas. Estas bombas permiten excavar manualmente a profundidades mayores, porque extraen el barro mientras el perforista trabaja en el interior del pozo, sin riesgo de aspirar gases tóxicos como ocurre con bombas a combustión y sin dañar las bombas, si son para aguas limpias. Si el terreno es inestable, se podría derrumbar sobre el perforista. En este caso lo más conveniente es entubar en 1 m de diámetro y excavar por el interior de los tubos de forma que vayan bajando por su propio peso.

Los caudales posibles de ser extraídos son variables, dependiendo del tipo de acuífero en que se encuentren. En el secano generalmente se trata de caudales menores a 0.5 l/s, mientras que en el valle central regado podrían ser de algunos litros por segundo.

3.2.2 Pozos Zanja (Dren)

Los *pozos zanja* (**Figura 8**) corresponden a excavaciones de mayor tamaño que los pozos noria, generalmente con maquinaria. Al igual que en los *pozos noria*, la conductividad hidráulica (Ks) del acuífero determina su capacidad de entrega de agua. En este caso la gran área de las paredes, determina la capacidad del pozo. Por lo tanto, también es importante la profundidad de excavación.



Figura 8.
Pozo zanja.

Los caudales posibles de ser extraídos, son variables dependiendo del tipo de acuífero en que se encuentren. En el seco generalmente se trata de caudales menores a 1 l/s, mientras en otras aéreas con acuíferos mejores podrían ser hasta 15 l/s.

Una característica importante de este tipo de captación es su gran volumen de acumulación, lo cual permite mayor flexibilidad en el uso del agua.

3.2.3 Punteras

Las punteras (**Figura 9**) no aparecen mencionadas explícitamente como una obra de captación del SIRSD. Sin embargo, constituyen una fuente de agua común en zonas con suelos permeables.

Estos pozos se perforan mediante un fuerte chorro de agua que baja por una cañería y que termina en un barreno. El agua circula

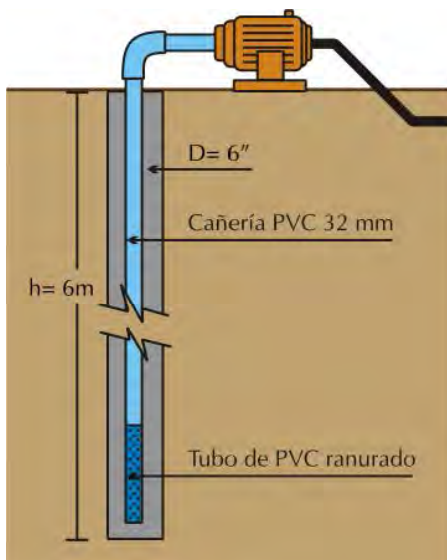


Figura 9. Esquema de una puntera.

hacia arriba y arrastra el material que ha sido molido por el roce con el barreno, y que al ser presionado hacia abajo y girado, va profundizando la perforación. Se usa para diámetros de 40 a 75 mm y para profundidades normalmente entre 3 y 8 m. Se pueden usar en forma individual o en baterías de punteras en red, los cuales son succionadas por una sola bomba.

Las *punteras* permiten captar aguas *sub-superficiales* y se aplican normalmente para caudales bajos a medios, del orden de 5 l/s como máximo cuando se trata de baterías de punteras.

3.2.4 Disponibilidad de agua en aguadas intermedias

La disponibilidad de agua de este tipo de fuentes de agua, se determina mediante pruebas de bombeo y/o de recuperación.

Existen diversos métodos para ello. Una prueba directa es la de caudal constante, que como su nombre lo indica, consiste en bombear el agua con un caudal constante hasta que el nivel se estabilice por 180 minutos. Esta prueba puede ser útil en caso de punteras, pero es poco práctica en *pozos noria* o *zanjas*, puesto que se requiere mucho tiempo antes de lograr la estabilización por la gran cantidad de agua acumulada en los pozos. Por ello se aplican otros métodos como el de Porchet o de Rupp.

3.3 Aguadas Profundas

De acuerdo al SIRSD las *aguadas profundas* se diferencian en dos rangos de acuerdo a su profundidad, los cuales serían, en primer lugar, entre 20 m y 40 m, y en segundo lugar, en más de 40 m. Deben ser de diámetro mínimo de 110 mm (equivalente a 4 pulgadas). Aunque en el marco del SIRSD se indica un mínimo de 75% de longitud entubada, respecto a la profundidad total, lo recomendable es entubar el pozo completo. Esto puede ser con tuberías de PVC clase 4 como mínimo.

Las *aguadas profundas* corresponden generalmente a pozos profundos, aunque existen casos excepcionales de *pozos noria* de

más de 20 m de profundidad. Estos pozos, a diferencia de las norias, tienen un diámetro pequeño en relación a su profundidad, y por lo tanto, un comportamiento distinto. No acumulan agua, por lo tanto el agua se debe usar en el momento, o bien, se debe guardar en estanques.

Pozos profundos de pequeño diámetro (4 a 5 pulgadas) pueden ser perforados con máquinas pequeñas. La **Figura 10** presenta un esquema de un pozo profundo de gran profundidad. En este caso el entubado debe ser en acero. Los diámetros pueden variar entre 6 a 20 pulgadas. Pozos de menor diámetro (4 pulgadas) podrían ser entubados en PVC. Los pozos profundos son construidos con maquinarias que permiten perforar los estratos del subsuelo. Existen diversos métodos, tales como percusión y rotación, o una combinación de ambos.

Los pozos profundos son evaluados mediante pruebas de caudal variable y constante. En primer lugar, se realizan pruebas variando el caudal para conocer el rendimiento del pozo. En segundo lugar y una vez conocido este valor, se procede a realizar una prueba de caudal constante durante 24 horas.

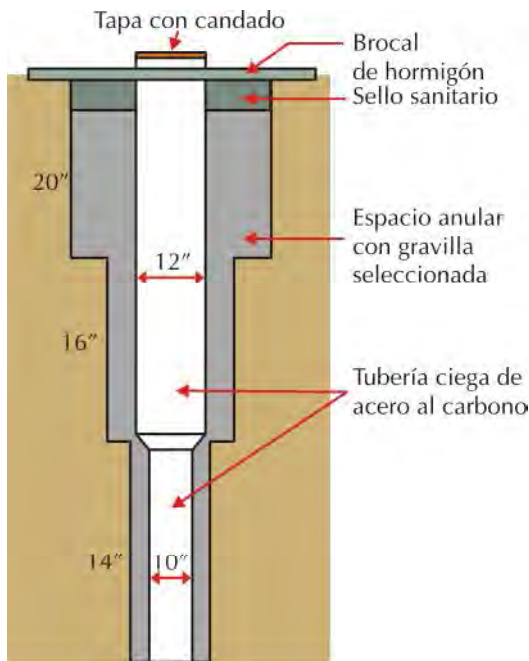


Figura 10. Plano horizontal de esquema de un pozo profundo de gran profundidad.

4 BIBLIOGRAFÍA

- Okuda, Yukio; Uribe C., Hamil y Lagos R., Octavio. Pequeñas obras de acumulación. En Uribe C., Hamil; Perez C., Claudio; Okuda, Yukio. (eds). 2004.** Boletín recursos hídricos y manejo del agua para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 123. Versión digital INIA.
- Okuda, Yukio; Uribe C., Hamil y Lagos R., Octavio. Estudio de disponibilidad de aguas subterráneas a nivel de la cuenca de San José, Ninhue. En Uribe C., Hamil; Perez C., Claudio; Okuda, Yukio. (eds). 2004.** Boletín recursos hídricos y manejo del agua para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 123. Versión digital INIA.
- Rupp, D., H. Uribe, O. Lagos, J. S. Selker. 2004.** Recession flow analysis for selection of basin drainage model and estimation of basin-wide hydraulic parameters. AGU fall meeting. San Francisco.
- Uribe, H. 2001.** Evaluación de recursos hídricos en el secano interior. En curso internacional "Manejo de Microcuencas y prácticas conservacionistas de suelo y agua. Serie actas INIA N° 22. Chillán, Chile.
- Uribe, H.; O. Lagos; D. Rupp y Y. Okuda. La escorrentía superficial en cuencas del secano interior. En Uribe C., H.; Pérez C., Claudio; Okuda, Y. (eds). 2004.** Boletín recursos hídricos y manejo del agua para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 123. Versión digital INIA.
- Uribe, H.; Arumi, j.; Salgado, L.; González, L. y Lagos, O. Recarga de las aguas subterráneas en el secano de Ninhue. En Uribe C., H.; Perez C., Claudio; Okuda, Y. (eds). 2004.** Boletín recursos hídricos y manejo del agua para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 123. Versión digital INIA.

CONSTRUCCIÓN DE INVERNADERO TIPO CAPILLA

David Mora López | *Jorge Carrasco Jiménez*
Patricio Abarca Reyes | *Cristian Aguirre Aguilera*
José Olguín Rubio | *Luis Silva Rubio*

1. INTRODUCCIÓN

Bajo condiciones de secano donde el agua es escasa, es importante considerar el uso de este vital elemento de manera eficiente. Es por ello que se debe hacer uso de estrategias productivas, que permitan enfrentar adecuadamente los nuevos escenarios que implican una menor disponibilidad hídrica y mayores temperaturas, produciendo cultivos hortícolas bajo invernaderos.

Los trabajos realizados por INIA en la Región de O'Higgins y Del Maule, en el desarrollo de técnicas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, se han enmarcado en la implementación de sistemas de colecta de agua en zonas de secano costero, brindándole a pequeños agricultores la disponibilidad de agua con el objetivo de complementar la demanda para el desarrollo de cultivos en superficies reducidas, principalmente en invernaderos, cuestión que les ha permitido contar con productos de calidad e inocuidad, tanto para autoconsumo como para la venta.

De acuerdo a lo anterior, se incorporó un modelo de captación y acumulación de aguas lluvias, colectándola de las precipitaciones y desde los techos de las construcciones de los productores

agrícolas. El agua se fue acumulando en distintos medios, tales como estanques de polietileno con capacidad para 5.400 litros, en cisternas flexibles de capacidad de 10.000 litros, y en algunos casos en pequeños tranques con capacidad para 50.000 litros a 100.000 litros. Esa agua, se fue utilizando para consumo humano y animal, y para la producción de hortalizas y forraje verde hidropónico, con riego por goteo, en invernaderos de madera tipo capilla de 40 m², pudiendo así obtener productos vegetales fuera de temporada, lo que ha significado una mejora en la calidad de vida de la agricultura familiar campesina.

Como quedó ya claro con lo anteriormente expuesto, la obtención de productos vegetales fuera de temporada es posible obtenerlo con el cultivo bajo invernadero. El invernadero, es una construcción de cubierta transparente destinada para fines agrícolas, cuyo objetivo es la producción sistemática y fuera de estación de cultivos hortícolas. Mediante el control del clima interno, en particular de la temperatura, permite conseguir una mayor precocidad de los cultivos, dado que se acortan los ciclos vegetativos y reproductivos de las plantas.

El aumento de la temperatura diurna en el invernadero, es lo que permite cultivar plantas fuera de estación, y obtener producciones tempranas o primores de especies exigentes en temperatura. Todo ello convierte al invernadero en un instrumento de trabajo que permite controlar eficazmente la producción de hortalizas, logrando así obtener mayores rendimientos y mejor calidad de los productos.

En la actualidad su uso en la agricultura se ha masificado, dado que sus beneficios han permitido obtener una producción limpia, desarrollar cultivos que requieren condiciones climáticas más favorables, trabajar en su interior durante los días lluviosos, y evitar a los cultivos daños por causa de los animales, de la lluvia o del viento.

El ahorro de agua para el riego de los cultivos es considerable, ya que suelo y plantas no están sometidos a la deshidratación del viento. A esta economía de agua hay que añadir el ahorro que implica el riego localizado, cuestión que hace aun más rentable y recomendable la inversión en invernaderos.

Sin embargo, el cultivo en invernadero presenta algunos inconvenientes, tales como:

- Una mayor especialización empresarial y técnica por parte de los productores que se dedican a esta actividad.
- Mayores gastos de producción en comparación a los mismos cultivos al aire libre.
- Necesidad de un mayor control de las condiciones internas del invernadero, tales como de la temperatura y de la humedad, los cuales son causantes del desarrollo de enfermedades que pudiesen afectar a los cultivos.

No obstante estos inconvenientes, la producción de cultivos bajo invernadero presenta muchas ventajas, sobre todo si se trata de producirlos bajo condiciones de escasez de agua, lo cual permite, y como ya se puntualizó más atrás, el proporcionar alimentos frescos fuera de temporada para consumo de las familias de pequeños productores, tales, por ejemplo, como hortalizas y forraje verde hidropónico.

Existen variados tipos de estructuras para la construcción de un invernadero, ya sea tipo capilla, tipo túnel, entre otros, así como también diversos materiales para su construcción, tales como el metal, la madera, el PVC, el hormigón, entre otros. Por otra parte, igualmente existen variadas alternativas para la cubierta, pudiendo ser de plástico polietileno, vidrio, policarbonato, y otros.

INIA ha recomendado el invernadero *tipo capilla* para los productores de secano de las regiones de O'Higgins y Del Maule, por ser de fácil construcción, de un relativo bajo costo, y porque su diseño permite la adecuada ventilación del mismo, facilitando así el manejo de los cultivos en su interior.

De acuerdo al modelo propuesto por INIA de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias, se incluye la construcción de un invernadero tipo capilla con una superficie de 40 m², que se detalla en este capítulo. La superficie del invernadero es suficiente para producir hortalizas de autoconsumo en pequeños productores, incluso puede generar excedentes para ser comercializados.

El modelo propuesto por INIA, utiliza estanques de plástico polietileno de 5.000 litros de capacidad, cisternas flexibles de 10.000 litros, o cisternas de ferrocemento de 10.000 a 15.000 litros. Estos se comienzan a llenar con las primeras lluvias del mes de mayo, y probablemente en el mismo mes alcancen su máxima capacidad con las precipitaciones caídas, por lo cual el productor puede hacer uso de esas aguas con riego por goteo, en la producción de hortalizas.

A medida que se va usando el agua acumulada para riego, el estanque o la cisterna se va llenando nuevamente con las sucesivas lluvias que puedan caer durante la temporada, llegando incluso a acumularse agua por sobre los 20.000 litros en la temporada, condición que hace interesante un sistema productivo de hortalizas con riego tecnificado, bajo un invernadero de 40 m².

2. CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO

a. Antes de la construcción

- Se debe procurar instalar el invernadero en suelos sin problemas de acumulación de agua o encharcamiento. El suelo donde se debe establecer, debe ser de buena calidad, sin problemas de mal drenaje, y en lo posible con una textura intermedia (franco arcilloso a franco arenoso), con el objetivo de alcanzar los rendimientos que exige un cultivo bajo estas condiciones.
- El terreno elegido no se debe ubicar en las partes de topografía baja de un predio, para prevenir problemas de heladas, y “asentamiento” de la niebla. Nieblas reiteradas en un lugar, generan problemas de humedad en los cultivos, añadido a una menor luminosidad, lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- El lugar a elegir debe estar protegido de los vientos dominantes, los cuales pueden causar daños a la cubierta de plástico polietileno o policarbonato. Si no es posible ello, se recomienda instalar cortinas cortavientos, con mallas rashel o madera, para proteger la cubierta del invernadero y evitar que el aire frío haga descender la temperatura de las paredes del mismo, enfriando así su interior.
- Se debe disponer de agua de riego suficiente para cubrir las necesidades de los cultivos que se van a producir. Lo recomendable es que el productor se haga asesorar por el profesional que lo atiende, para determinar el uso consumo de los cultivos a establecer, y con ello definir el volumen que se requiere para los cultivos en la temporada. Esto toma mayor importancia, si se trata de cultivar en los meses de verano, período de mayor demanda de agua.

- El invernadero deberá ubicarse siempre a pleno sol, en un lugar donde ojalá reciba los rayos del sol en forma directa la mayor parte del día.
- Disponer de energía eléctrica es importante para la automatización y mecanización en el control ambiental del invernadero, siempre y cuando se requiera.
- El invernadero debe estar alejado de caminos por donde exista un flujo vehicular permanente, ya que, el polvo que se levanta y deposita sobre las cubiertas del invernadero, resta luminosidad al mismo.

b. Durante la construcción

- Se deben alisar las superficies de las piezas, ya sean metálicas o de madera, que entren en contacto con la cubierta plástica y envolver con polietileno todas las partes filosas sobresalientes. Así se evita roturas prematuras de la cubierta plástica o de planchas de policarbonato.
- La instalación del plástico es recomendable realizarla durante las primeras horas de la mañana, cuando las temperaturas son moderadas y las velocidades del viento son bajas.
- La película de polietileno se debe estirar de manera uniforme a todo lo largo del invernadero.
- Si se trata de instalar una cubierta de plástico polietileno, se debe instalar primero el polietileno en las caras anterior (parte frontal) y posterior del invernadero, luego en los laterales y por último en el techo, para poder dar la tensión adecuada.

c. De mantenimiento y posterior a la construcción

- Revisar que las cubiertas de plástico del techo y de los costados no estén rotos. Reparar inmediatamente todo agujero o rasgadura, usando cinta adhesiva adecuada para plástico

polietileno, de modo de evitar que éste se rompa aún más, y para asegurar que no haya entradas de aire frío que haga descender la temperatura interior.

- Tensar el polietileno, entre temporadas. Si el plástico polietileno está suelto, lo más probable que por efecto del viento se vaya rompiendo.
- Los agroquímicos y en especial aquellos con azufre o halógenos (cloro, flúor, bromo y yodo), pueden dañar el polietileno y provocar degradación prematura del plástico. Por ello, hay que evitar que entren en contacto con él, debiendo ventilarse el invernadero con el fin de hacer salir los gases perjudiciales.

La ventilación del invernadero en meses de alta temperatura, es una labor que habitualmente debe realizar el productor. Con una alta humedad relativa, y una alta temperatura en el interior del invernadero, se propician las enfermedades fungosas en los cultivos.

3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO TIPO CAPILLA

3.1. Dimensiones

Al momento de diseñar un invernadero, se debe considerar sus medidas en lo que se refiere al alto, ancho y largo.

- **Altura:** Se recomienda que la altura de las paredes laterales del invernadero sean de aproximadamente de 1,8 metros. Esta altura facilitará los trabajos y labores dentro del invernadero, tales como la siembra, movimiento de suelo, cosecha, entre otros. Una altura menor impediría el tránsito de personas al interior. Por otro lado, una altura mayor permitiría más resistencia de la estructura al viento, en el caso que este factor sea incidente.

La parte central y más alta del invernadero, que corresponde a la cumbre, conviene que tenga una altura de 3 a 3,5 metros. Mayores alturas resultan inconvenientes en los trabajos de mantenimiento (cambio de plástico, pintura, etc.) y presentan demasiada superficie ante la acción del viento. Por su parte si tiene demasiado volumen de aire, necesitará más energía calórica cuando requiera calefacción. Además en días nublados, el aire a nivel de las plantas tardará más en calentarse.

- **Ancho:** el ancho de un invernadero está determinado por la pendiente que se le dará a la techumbre, la cual varía desde un 10% a un 30%. Por lo cual, el ancho estará condicionado a la altura de las paredes laterales, la cumbre y la pendiente que se desee obtener.

Para determinar el ancho se presenta a continuación la siguiente ecuación:

Ecuación 1:
$$AI = (Hc - Hp) \times \frac{100}{P} \times 2$$

Donde:

AI : Ancho del invernadero (m).

Hp : Altura de paredes laterales (m).

Hc : Altura de la cumbre (m).

P : pendiente deseada (%).

Ejemplo. Se desea conocer el ancho requerido para una cumbre de 3,5 metros de alto, paredes laterales de 2,5 metros y una pendiente deseada de un 25%.

Aplicando la ecuación antes descrita, se tiene:

$$AI = (3,5 - 2,5) \times \frac{100}{25} \times 2$$

$$AI = (1) \times 4 \times 2$$

$$AI = 8 \text{ metros}$$

De acuerdo al resultado y considerando un número entero, podemos afirmar que para las medidas dadas, el ancho del invernadero debiera ser de 8 metros.

- **Largo:** La longitud del invernadero no influye de ninguna manera en el control ambiental del mismo, siempre y cuando las ventanas, aparatos de regulación, calefacción, etc. estén uniformemente repartidos y la pendiente del suelo de cultivo no sea excesiva.

Si la pendiente del suelo es excesiva y el invernadero muy largo, el control de la temperatura ambiental se dificultaría, ya que, el aire a medida que se va calentando, se irá situando en las capas superiores donde las temperaturas pueden llegar a ser muy altas en relación a la parte baja del invernadero.

3.2. Estructura

La estructura corresponde al armazón del invernadero (**Figura 1**), que está constituida por pies derechos, vigas, cumbrera, correas, etc., que son las que soportan la cubierta, el viento, la lluvia, los aparatos internos y los tutores de las plantas. En las páginas siguientes se describirá el método de construcción invernadero modelo INIA de 40 m².

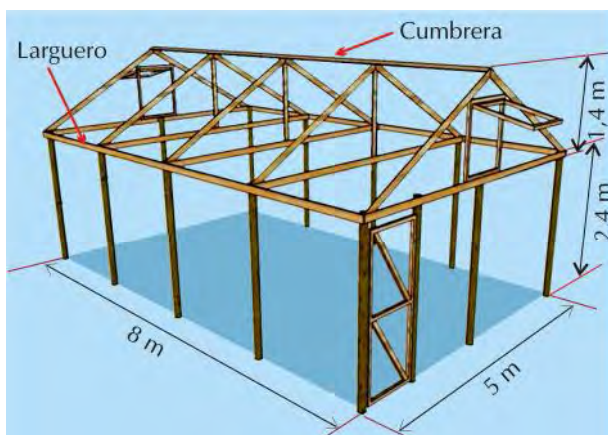


Figura 1.
Estructura de un
invernadero de
40 m² tipo capilla.
Modelo INIA

La estructura puede estar constituida por diversos materiales, los más comunes son el metal y la madera. Al respecto, el costo entre estos dos materiales mantiene una relación de 4:1, es decir que una estructura de metal cuesta cuatro veces más que una de madera. Sin embargo, la vida útil de estas estructuras presenta una amplia diferencia, ya que, la de metal está estimada en 25 años, con una pequeña mantención cada tres años; mientras que la madera podemos esperar una duración de 5 años, con mantenciones cada 2 años.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las siguientes condiciones:

- Deben ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen poca superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

3.3. Orientación

Uno de los factores que más repercute en la producción es la luz, por lo que se debe procurar que ésta llegue lo mejor posible al invernadero. Por lo tanto, la orientación del mismo determinará que los rayos solares penetren en mayor o menor grado.

Al respecto, se debe tender a una orientación en que reciba la máxima cantidad de luz en la mañana, oportunidad en la que se necesita aumentar la temperatura rápidamente. Esta posición debe ser perpendicular a los rayos matinales del sol, lo que en el hemisferio sur corresponde a la posición noreste – sureste.

Otro factor a tener en consideración al decidir la orientación del invernadero, es el viento, pese a que este factor es posible controlarlo mediante cortinas cortaviento. Se debe intentar tener una mínima exposición a los vientos predominantes, ya que el viento fuerte trae el peligro de daño, tanto en la estructura como en el

material de la cubierta. Por lo cual lo ideal es orientar el invernadero en aquella dirección que presente la menor resistencia posible. Esto se logra orientando el invernadero con su lado más largo en la misma dirección que el viento, o bien, en diagonal.

3.4. Condiciones de temperatura

Las condiciones climáticas de la zona donde se emplazará el invernadero son especialmente relevantes si se trata de invernaderos fríos. En estos casos se requiere de zonas libres de heladas o con heladas ocasionales suaves, tales como aquellas zonas con influencia marina de la zona central y centro norte.

En zonas con riesgo de heladas ocasionales, se debe disponer de algún medio de calefacción artificial para esas situaciones, o bien, de una mayor protección con cubiertas de materiales reforzados térmicamente, o bien, disponer de una doble cubierta.

En términos generales, resultan determinantes las temperaturas mínimas medias que corresponden comúnmente a temperaturas nocturnas, difícilmente modificables por el invernadero, a diferencia de las temperaturas medias, que justamente son las modificables al elevar las temperaturas diurnas.

3.5. Ventilación

La ventilación es un aspecto básico a tener en cuenta para el manejo de un invernadero, siendo fundamental para regular la temperatura, la humedad y favorecer la renovación de dióxido de carbono dentro del invernadero. Por lo cual, el invernadero debe tener suficiente superficie de ventilación.

La ventilación se puede realizar en forma natural o forzándola artificialmente, siendo la ventilación natural la más utilizada. En algunos casos se ventila solamente con la entrada de aire por las paredes laterales, mientras que en otros, se establece la entrada de aire por los costados y la salida por "lucarnas" o ventanas

cenitales, ubicadas en la techumbre de la construcción (cenit), o en los frentes de la estructura, siempre y cuando el largo de la misma no supere los 10 metros.

El sistema de ventilación, tipo cenital, es el más recomendado para zonas poco ventosas, donde pueda dificultarse la ventilación del invernadero. Este consiste en la ubicación de las ventanas en la parte más alta del techo, con el fin de crear un efecto de tiraje, respecto del cual no se necesita de la acción del viento para lograr la renovación del aire, puesto que el aire caliente se concentra en la parte superior del invernadero, y al abrir las ventanas, éste es liberado naturalmente. Con ello, se crea una succión de aire fresco desde las aberturas de abajo, para ocupar el lugar del aire que está saliendo. De ésta manera, con sólo abrir las ventanas cenitales y las puertas o ventanas laterales, logramos una renovación constante del aire del invernadero, inclusive durante los días de poco viento ambiental.

4. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO TIPO CAPILLA

A continuación, se describen los materiales para un invernadero de estructura de madera y cubierta de plástico polietileno, tipo capilla. Este es el tipo de invernadero más difundido en Chile, por su economía y fácil construcción.

Madera:

- **Postes:** Se utilizan para los pies derechos (pilares) y los centrales, y en algunas ocasiones pueden utilizarse para la techumbre. Se emplean rollizos de pino “impregnado”, de 3 a 4 pulgadas y 3 metros de largo (medidas inferiores no son recomendables).

- **Tablas:** Para la estructura, por ser más baratas, se utilizan tablas de pino de 1" x 4" o bien de 1" x 5", en 3,2 ó 4 metros de largo. Se deben elegir las tablas con menos nudos, por su mayor resistencia.

Para la fijación del plástico a la estructura, es necesario utilizar listones de 1" x 2" (llamadas charlatas), utilizando para ello clavos de 2 a 3 pulgadas.

5. CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO

Previo a la construcción, se debe considerar que la madera que forma la estructura requiere de ciertos cuidados, con el fin de su duración, para lo cual, los tratamientos previos recomendados son:

- Madera curada, y nunca recién cortada.
- Los postes o rollizos que sostienen la estructura, en lo posible deben ser "impregnados".
- El extremo de los postes que se enterrarán en el suelo, deben quemarse parcialmente y posteriormente se pintan con alquitrán.

Por otra parte, la calidad de la madera debe ser:

- Exenta de patógenos, porque se agrieta.
- Lo más recta posible, y en lo posible sin nudos.

Si fuere necesario el uso de anclajes, esto se hace por medio de alambres de acero galvanizado de 4,4 mm de diámetro (llamados "viento"), que se sujetan a los postes de las paredes exteriores.

Para el uso de aguas lluvias colectadas en estanques o cisternas, se considerará la construcción de una estructura de madera de 5 x 8 metros con cubierta de polietileno. Esta superficie es suficiente para abastecer de diversas especies vegetales a una familia.

El primer paso antes de comenzar la construcción, es realizar la cuadratura del terreno donde se emplazará el proyecto de construcción del invernadero.

5.1. Cuadratura del terreno

Para que el invernadero se ubique con sus esquinas en ángulo recto de acuerdo a las medidas proyectadas, lo primero que se hace es cuadrar el terreno. Esta operación es muy importante ya que por un lado, el construir una estructura perfectamente cuadrada le proporciona más resistencia a la misma, y por otro, se facilita la instalación de la cubierta. Al respecto y para dicha actividad se describirá el método del 3 - 4 y 5 m, que es muy preciso, el cual consiste en determinar con lienzas y una huincha de medir el ángulo recto en las esquinas.

Metodología:

Siguiendo el esquema descrito en la **Figura 2**, se toma como referencia uno de los lados largos de 8 metros del invernadero. Se marca con las estacas en los puntos A y B del esquema y se unen con una lienza, lo más tensa posible, sobre la cual y partiendo desde la estaca A se miden 3 metros y se señala con la estaca C. A partir de la estaca A se ubica una lienza de 4 metros en ángulo recto con la estaca A. Desde la estaca C se amarra otro cordel de 5 metros hacia el mismo lado. Se estiran las dos lienzas y en el

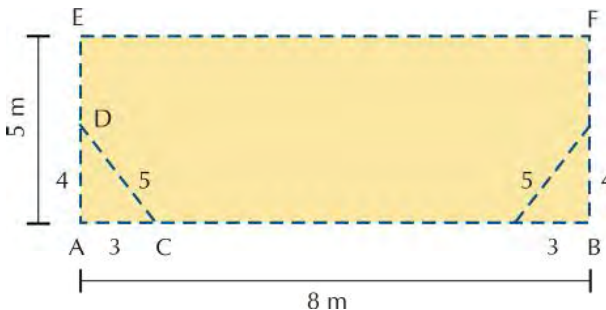


Figura 2. Esquema para la cuadratura del terreno.

punto donde se unen ambas lienzas (de 4 y 5 metros), se clava la estaca D. El ángulo recto que se produce en el punto A es preciso.

Posteriormente, a partir del punto A se estira una lienza que pase por el punto D y se prolonga hasta medir los 5 metros, punto donde se entierra la estaca E. Esta operación se repite en la estaca B para obtener el punto donde se ubicará la estaca F, en ángulo recto.

Finalmente se unen con una lienza los puntos E y F, con lo cual el terreno está cuadrado. Con este método, se obtienen las cuatro esquinas para el establecimiento del invernadero. Para comprobar que el trabajo se hizo en forma adecuada, se miden las distancias internas entre las esquinas de forma diagonal. Si el largo entre ellas es exacto, la cuadratura del terreno está bien hecha.

Se aconseja proyectar las lienzas un metro más hacia ambos lados con el fin de que no molesten al momento de hacer los hoyos para la postura de postes.

5.2. Construcción de la estructura

Una vez cuadrado el terreno, se procede a realizar la excavación para la postura de postes impregnados que soportarán la estructura. Para lo cual se excavan 12 hoyos, a 60 cm de profundidad cada uno, con 5 postes por cada lado del invernadero (Figura 2), incluyendo un poste en la parte anterior y un segundo en la parte posterior. Como se trata de un invernadero de 40 m², no es necesario colocar postes al centro del invernadero (ver Figura 1).

En cada línea trazada por la lienza, se marcarán a cada 2 metros de distancia los puntos donde se ubicarán los postes laterales y los centrales. Cada excavación se realiza a 60 centímetros de profundidad, y se van enterrando en ellos los postes previamente pintados con pintura asfáltica, se rellenan con piedras y tierra

que se apisonan junto al poste en la excavación. Se humedece con agua si el suelo estuviese seco, con lo cual, se conseguirá lograr mayor firmeza en cada poste enterrado.

El trabajo se inicia ubicando a nivel los cuatro postes de las esquinas, mediante el uso de la manguera de nivel¹; los cuales, posteriormente servirán de guía para los postes laterales, tanto en la ubicación como en la altura. Una vez instalados los cuatro postes principales de cada esquina, se coloca una lienza entre los postes laterales, para dar la altura deseada y el nivel a los postes que se ubicarán entre ellos, manteniendo la lienza que demarca el terreno para no perder la alineación.



Figura 3. Ubicación de postes, para un invernadero de 40 m².

Posteriormente, se instalan los postes que van en la línea central de los frentes anterior y posterior de la estructura. Es importante controlar que los postes queden instalados lo más vertical posible, utilizando para ello un "hilo a plomo" o un nivel manual, especialmente en los esquineros, que servirán de guía para los que se ubicarán posteriormente.

¹ Nota: se debe utilizar el procedimiento descrito en el Capítulo 4, Construcción de Sistemas de Ferrocemento.

Una vez que los postes estén enterrados, nivelados y alineados, se fijan los largueros en la parte superior de la estructura (**Figura 4**). Primero, se ubican las del costado superior de los postes, en forma longitudinal, uniéndolos entre sí.



Figura 4. Ubicación e instalación de largueros en los laterales del invernadero.

En esta etapa de construcción, además se instalan alambres que se ubican en la parte inferior de los postes (entre 0,7 a 1 metro de altura), los cuales sujetarán el plástico que se instalará posteriormente, para formar la banda que protege y evita el paso de animales, cuando se levanten los faldones (de plástico) al momento de ventilar el invernadero.

Si se cuenta con mano de obra disponible, es recomendable construir en forma paralela las cerchas. Para el caso de un invernadero de 40 m², aquéllas deben poseer una altura de 1,40 metros y 5 metros de ancho (**Figura 5**). Se debe considerar la construcción de 3 cerchas centrales y 2 frontales. Estas últimas son las que llevan las ventanas para la ventilación del invernadero.

Este diseño de invernadero, contempla ventilación cenital mediante ventanas ubicadas en su parte anterior (frontal) y posterior (trasera). Se recomienda construir las cerchas junto con el marco de la ventana (listón 2 x 2"), antes de clavarlas a la estructura del invernadero (**Figura 6**).



Figura 5. Construcción de cerchas centrales.

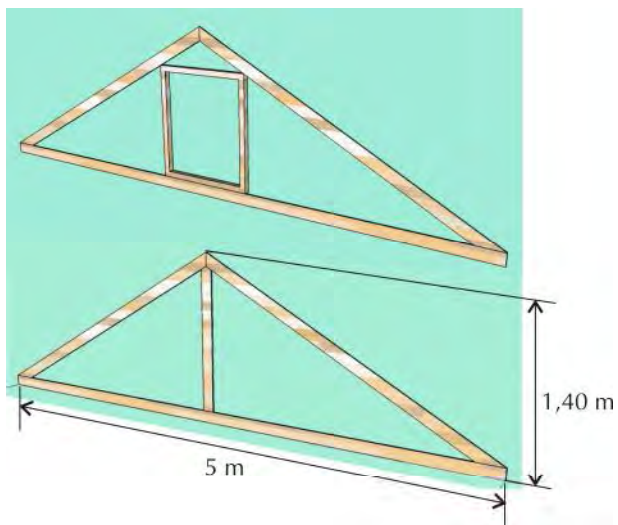


Figura 6. Estructura de cerchas anterior y posterior con el marco de la ventana construido.

Una vez finalizada la construcción de las cerchas, e instalados los postes y largueros, se procederá al montaje de éstas tal como se muestra en la **Figura 7**.



Figura 7. Montaje de las cerchas centrales en la estructura.

Las cerchas, a través de clavos, de 2 1/2 pulgadas se fijan de forma frontal a los postes (**Figura 8**).



Figura 8. Detalle del montaje de las cerchas.

A continuación se procede a instalar las cerchas frontales, las cuales van con las ventanas ya montadas a la estructura

(Figuras 9 y 10). Esto último facilita el trabajo y evita las labores en altura que pueden causar accidentes.



Figura 9. Detalle de la cercha frontal con la ventana de ventilación previamente instalada.



Figura 10. Detalle del montaje de la cercha frontal.

Una vez que se tienen todas las cerchas instaladas se procede a instalar la cumbrera (**Figura 11**), en la cual se fijará la cubierta a la estructura. Esta debe ir instalada en la parte superior de la cercha, con una tabla de 1 x 4" por cada lado de la pendiente formada en la cercha (ver Figura 11a).

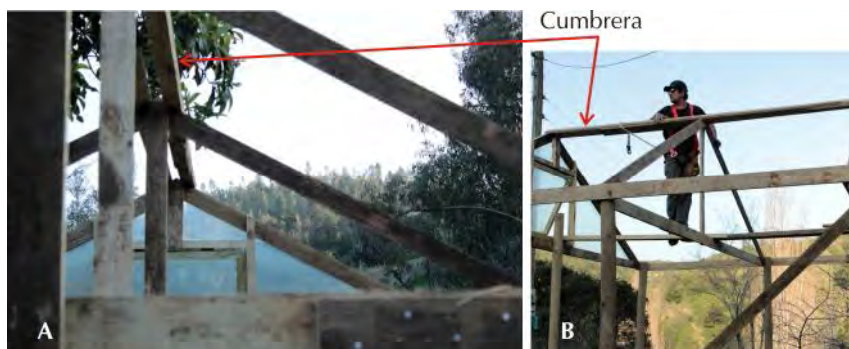


Figura 11. Detalle de la instalación de la cumbrera.

Finalmente, se debe montar un poste de 4" para instalar la puerta en el lugar que se estime. Es importante que todas las tablas queden bien clavadas a los postes o entre sí, de manera de dar firmeza a la estructura y además mantener con ello la cuadratura de ella para facilitar la colocación del polietileno. Los clavos utilizados para la unión de tablas, si es que las llegan a traspasar, no deben presentar sus puntas de tal modo de dañar el plástico o la cubierta que se desee instalar. Por ello se hace necesario doblarlas a golpe de martillo.

Las uniones y aristas formadas por la madera, que quedarán en contacto con el plástico, deben ser lo más suave posibles, de manera que no dañen el plástico polietileno que se instalará. Dichas aristas se pueden forrar con pedazos de plástico, para evitar que rompan el polietileno al momento de instalarlo como cubierta (**Figura 12**).



Figura 12. Detalle del recubrimiento de aristas para prevenir roturas del plástico polietileno de la cubierta del invernadero.

A continuación se muestran dos tipos de terminaciones y uniones entre tablas, a considerar para resguardar la integridad del plástico.

- Terminación de los frentes del invernadero: obsérvese la terminación entre el larguero transversal y la viga que forma la cercha (**Figura 13**).



Figura 13. Terminación de los frentes del invernadero.

- Unión entre tablas y terminación de cerchas interiores. Las uniones entre tablas, deben quedar siempre con las puntas de los clavos apuntando hacia el interior del invernadero, y la terminación de las cerchas interiores no debe sobrepasar los largueros longitudinales. Éstas se clavan directamente a los postes laterales (**Figura 14**).



Figura 14. Unión entre tablas y terminación de cerchas interiores.

5.3. Instalación del plástico polietileno

Una vez construida la estructura, se procede a la instalación del plástico, el cual se fija a la estructura mediante listones de madera de 2 x 1", llamados "charlatas". Al momento de cortar los trozos de plástico para las distintas partes del invernadero, se debe considerar a lo menos 50 cm extra por cada lado.

La metodología para la instalación del plástico es la siguiente:

- **Preparación del terreno.** Primero se cavan zanjas alrededor de la estructura, donde se sujetarán las bandas de protección y con suelo de la propia excavación. Esto se hace por todo el contorno de la estructura del invernadero. Las bandas de protección de plástico se pueden fijar sobre tablas de madera (**Figura 15**), o sobre alambre (**Figura 16**) a través de corchetes.



Figura 15. Instalación de bandas de protección sobre madera.



Figura 16. Instalación de bandas de proyección sobre alambre.

- **Instalación de faldones.** Una vez instaladas las bandas de protección, se procede a colocar el plástico de los faldones, el cual va sujeto mediante listones de 2 x 1" clavados en la parte superior de los largueros. Estos deben quedar envueltos, con a lo menos, tres vueltas del plástico en forma uniforme, manteniendo el mismo nivel entre el borde del listón y el borde del plástico. Al instalar el plástico con el listón ya envuelto,

éste debe quedar a nivel con la parte superior del larguero y con la cara del plástico en contacto con el mismo (**Figura 17**).



Figura 17. Sujeción del plástico en la parte superior del larguero.

Es importante señalar que la fijación del plástico, se realiza en forma continua alrededor del invernadero, sin cortes, desde un extremo de la puerta al otro extremo de la misma (**Figura 18**). Esto permite levantar los faldones en todo el perímetro del invernadero para su ventilación, por lo cual deben quedar libres y sueltos en su parte inferior.



Figura 18. Fijación del plástico alrededor del invernadero.

En la Figura 18 se aprecia que la cercha frontal, o anterior, no se ha instalado con el plástico, ya que al momento de cubrir el techo se utilizará el mismo plástico de la cubierta para cubrir los frentes, no realizando cortes innecesarios.

Finalmente, se fija el plástico en los extremos del marco de la puerta por medio del uso de listones de 2 x 1" (**Figura 19**), siguiendo la metodología ya descrita.

- **Recubrimiento de la techumbre con polietileno.**

Finalmente, una vez cubierto con plástico todo el perímetro del invernadero, se instala la cubierta del techo. Esta es la parte más compleja, porque la cubierta debe quedar totalmente estirada y tensa, para evitar que el polietileno, por efecto del viento, se golpee con los elementos de la estructura y comience a generar roturas en el mismo.



Figura 19. Sujeción del plástico en su parte lateral.

La instalación comienza clavando en la cumbrera correspondiente, el polietileno envuelto con el listón de 2 x 1", teniendo la precaución que hacia los costados queden 50 cm extra, para poder fijarlo a la estructura. Para este invernadero de 40 m², se utiliza un corte de polietileno que cubra totalmente el techo, tanto por ambos costados como en los frentes.

De acuerdo a lo anterior, considerando que el invernadero tiene 8 metros de largo, una altura de la cercha de 1,4 metros y 3 metros desde la cumbrera al larguero, se utilizará un trozo de polietileno de 11 metros de largo y 7 metros de ancho para cubrir el techo y los frentes.

La metodología se describe a continuación:

- **Preparación del polietileno:** Se corta el trozo de polietileno de 11 metros de largo y 7 metros de ancho. Se dobla a la mitad, y se inserta 8 metros de listón de 2 x 1" (**Figura 20**), dejando 1,5 metros libres a cada lado.



Figura 20. Preparación del polietileno para cubrir el techo.

- **Montaje del polietileno:** Una vez hecho lo anterior, se sube el plástico polietileno a la cumbre, dejando que los extremos del mismo caigan hacia los frentes (**Figura 21**).



Figura 21. Detalle de la cubierta para los frentes superiores.

Una vez que se tiene el polietileno en la cumbre, se procede a clavar el listón en la parte superior de ella, estirando ambas caras del polietileno hacia la parte contraria de la cumbre utilizada (**Figura 22**), quedando de esta manera el listón cubierto por el plástico.



Figura 22. Fijación del polietileno a la estructura del invernadero.

Una vez clavado el plástico a la cumbre, se procede a clavar listones en la parte superior de la cumbre contraria (**Figura 23**), en toda la longitud del invernadero (8 metros).



Figura 23. Detalle del montaje del plástico a la estructura.

Una vez que se tiene los listones clavados en ambas cumbreras, se procede a estirar una cara del plástico hacia el lado contrario del techo (**Figura 24**).



Figura 24. Detalle de la instalación del plástico para el techo.

Antes de fijar el polietileno a los largueros, se debe cortar el exceso de plástico para que éste quede a 50 cm aproximadamente por debajo del larguero, de este modo, envolver los listones que le darán el estiramiento a la cubierta del techo.

Al fijar el plástico, los listones que estiran la cubierta quedan debajo de aquellos listones que sujetan los faldones (**Figura 25**), ambos clavados al larguero correspondiente.



Figura 25. Detalle de la fijación del polietileno a los largueros.

Se recomienda fijar el polietileno, con listones de entre 1 y 2 metros de largo, comenzando desde el medio hacia los costados, para ir eliminando los pliegues que se van formando. Al utilizar un listón completo (de 3,20 m) se dificulta el envolver los listones en forma uniforme con el plástico, por lo cual, se tienen partes más tensas en una esquina y menos tensas en otra. En el caso de los frentes se comienza por la esquina hacia el medio de la estructura (**Figura 26**).



Figura 26. Fijación del plástico de la techumbre y los frentes superiores.

Siguiendo el método anterior y para dar la tensión deseada a la cubierta, una forma de hacerlo es generando presión entre los listones al mismo tiempo que se va acomodando el listón de la cubierta por debajo del listón que sujeta los faldones (**Figura 27**),



Figura 27.
Estiramiento
del polietileno.

con el consecuente estiramiento del polietileno. De esta manera, no se estira el polietileno con la fuerza de los brazos, con el riesgo de enterrar los dedos a la cubierta.

Dicha metodología se aplica para toda la techumbre, incluyendo los frentes superiores, donde se termina en el marco de la ventana (**Figura 28**).



Figura 28. Invernadero con el plástico instalado.

Una vez instalada la techumbre, se clavan listones sobre las cerchas (**Figura 29**), para sujetar el plástico y evitar que se golpee o azote contra la madera, cuando se produzcan vientos de alta intensidad.



Figura 29. Instalación del polietileno a nivel de la techumbre.

Las ventanas se pueden mantener abiertas por medio de un listón de madera de 2 x 1" y que se apoye externamente en el poste central (**Figura 30**).



Figura 30. Apertura de ventana.

- **Recubrimiento de la techumbre con policarbonato:** A continuación se describirá cómo recubrir la techumbre con planchas de policarbonato, el cual le proporciona una mayor durabilidad al invernadero (20 años), además de darle mayores características térmicas y de diafanidad (luminosidad) con respecto al polietileno.

Para la instalación del policarbonato, se debe instalar a lo menos 2 costaneras a lo largo de la techumbre, además de la cumbrera (**Figura 31 a y b**). Estas costaneras pueden ser de metalcom o madera.

Una vez montadas las costaneras se procede a instalar el policarbonato. Se debe tener la precaución de instalarlo con la cara que posee filtro UV hacia el exterior, por lo cual, se deben leer las instrucciones

de uso del policarbonato antes de instalarlo. Para el invernadero de 40 m² se utilizarán 8 planchas de 2,9 m x 2,1 m. y 4 mm de espesor. Para zonas con probabilidad de nieve se recomienda el uso de hasta 3 costaneras por cada costado y planchas de policarbonato 6 mm de espesor.

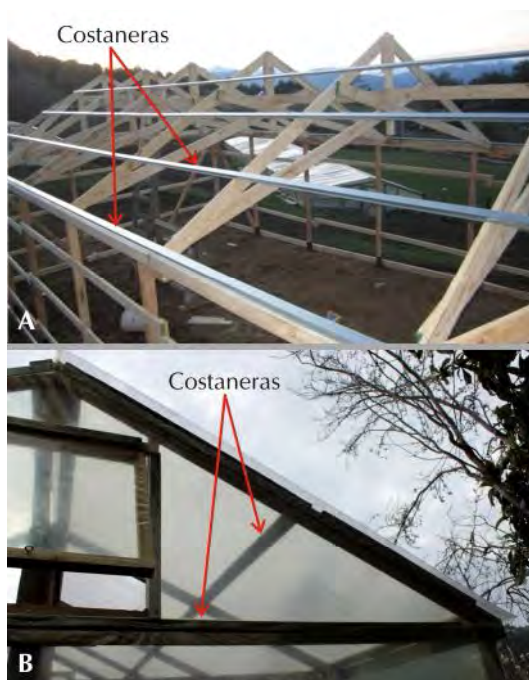


Figura 31. Tipos de costanera utilizados.

A) De Metalcom. B) De madera.

Para la unión entre planchas se utiliza una “unión H”, las cuales se instalan con la misma orientación de las celdas de las planchas (Figura 32)



Figura 32. Unión H y detalle de instalación.

Los extremos de las planchas presentan cavidades que se prolongan por todo el largo de la misma. Por lo cual, se deben sellar con una cinta y cubre zócalos de policarbonato, los cuales evitan la entrada de agua y suciedad al interior de las celdas de la plancha (Figura 33).

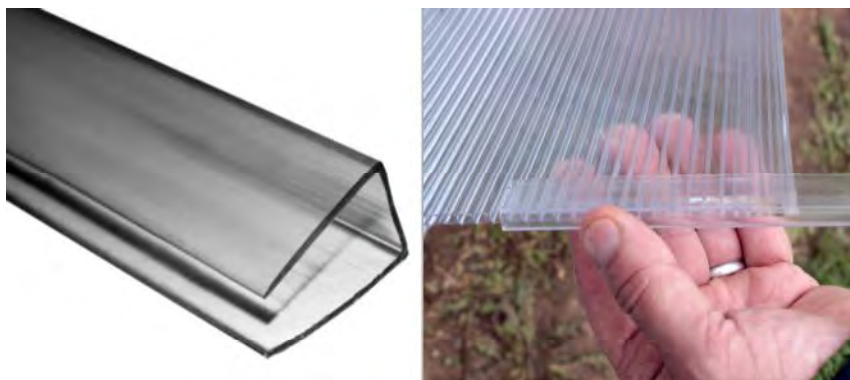


Figura 33. Cubre zócalo y detalle de instalación.

Una vez que las planchas están preparadas, se procede a instalarlas, procurando que se encuentren bien consolidadas mediante las uniones H. En el caso que se utilicen costaneras de metalcom, las planchas deberán fijarse a la estructura mediante tornillos autoperforantes. Si se utilizan costaneras de madera, se deben usar tornillos punta de aguja (tornillos de vulcanita).



Figura 34. Invernadero con techumbre de policarbonato.

- **Construcción de la puerta del invernadero.** La puerta debe ser construida con listones de 2 x 2", diseñada con un ancho mínimo de 80 cm y una altura de acuerdo al larguero del invernadero (1,8 m. aproximadamente o superior), medidas que facilitan el ingreso al invernadero.

Primero se procede a formar el rectángulo de la puerta, y luego se instala un listón en su parte media y se construyen dos escuadras (**Figura 35 a**). Estas escuadras, evitan que la puerta pierda su forma y pueda caer por el propio peso (**Figura 35 b**), debiendo instalarse estas escuadras en contra de la fuerza de gravedad para evitar que la puerta se mueva de su ubicación con el tiempo.



Figura 35. Puerta del invernadero.

6. COSTO DE MATERIALES

A continuación se presentan los costos aproximados de materiales y mano de obra para un invernadero de 5 m x 8 m (40 m²); con techumbre de polietileno y de policarbonato.

Caso A.

Costo de materiales de un invernadero con cubierta de polietileno.

Materiales	Dimensión	Cantidad	Valor (\$)	Subtotal (\$)
Rollizos o postes impregnados	4 a 5" x 3 m	13	3.500	45.500
Tabla	1 x 4" x 3,2 m	37	1.110	41.070
Listón	1 x 2" x 3,2 m	26	720	18.720
Palos	2 x 2	8	1.331	10.648
Alambre	kilo	1	1.350	1.350
Bisagras	3 x 3"	7	1.100	7.700
Polietileno	37 x 7 m (50 kg aprox)	50	1.500	75.000
Clavos	3"	5	2.000	10.000
Clavos	4"	1	2.000	2.000
COSTO TOTAL (\$)				211.988
COSTO TOTAL (UF)				8,28

Nota: se consideró el valor de la U.F al 30 de noviembre de \$ 25.598,41.

Caso B.

Costo de materiales de un invernadero con techo de policarbonato.

Materiales	Dimensión	Cantidad	Valor (\$)	Subtotal (\$)
Rollizos o postes impregnados	4 a 5" x 3 m	13	3.500	45.500
Tabla tapa	1 x 4" x 3,2 m	45	1.110	49.950
Liston	1 x 2" x 3,2 m	20	720	14.400
Palos	2 X 2	8	1.331	10.648
Clavos	3"	5	2.000	10.000
Clavos	4"	1	2.000	2.000
Policarbonato (planchas)	2,1 x 2,9 x 4 mm	8	37.990	303.920
Cubrezocalos	2,15 x 4 mm	16	1.290	20.640
Unión H	2,9 x 4 mm	6	4.390	26.340
Bisagras	3 x 3"	7	1.100	7.700
Costo total (\$)				491.098
Costo total (UF)				19,18

Nota: se consideró el valor de la U.F al 30 de noviembre de \$ 25.598,41.

A este costo de materiales se debe agregar el costo de mano de obra para la construcción de los invernaderos, que asciende a \$ 280.000, que incluye 3 operarios por 3 días, y con pago de \$ 30.000 diarios a cada uno.

Resumen de costos de materiales invernadero de 40 m² según tipo de cubierta

Tipo de techo de invernadero	Costo en \$	Costo en UF
Plástico polietileno	211.988	8,28
Policarbonato	491.098	19,18

6. BIBLIOGRAFÍA

- Barrios, O., 2004.** Construcción de un invernadero. FUCOA. Santiago, Chile. 34p
- Coleman, E., 2009.** The Winter Harvest Handbook. Year-Round Vegetable Production Using Deep-Organic Techniques an Unheated Greenhouses. Chelsea Green Publishing Company. United States of America. 247p.
- Marshall, R., 2006.** How to Build Your Own Green House. Desings and Plans to Meet Your Growing Needs. Storey Publishing. Versa Press. United States of America. 255p.
- Mora, D. y Carrasco, J., 2012.** Construcción de un invernadero de 40 m². Informativo INIA-Rayentué N° 47. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Rengo. Chile. 4p
- Serrano Cermeño Z., 2005.** Construcción de Invernaderos. 3^a Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. España. 512p
- Vásquez M., González R., Briceño L., Jaimez R., 2010.** Bases para la construcción de invernaderos. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Serie Cultivos de Invernaderos N° 4. Mérida, Venezuela. 20p.

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO PARA LA PEQUEÑA AGRICULTURA

Patricio Abarca Reyes | Cristian Aguirre Aguilera
Luis Silva Rubio | David Mora López
Jorge Carrasco Jiménez

En el secano Mediterráneo de la Región de O'Higgins (costa, intermedio e interior), el inicio de la estación de las lluvias se manifiesta normalmente entre abril y mayo, finalizando hacia fines de invierno o inicios de la primavera (septiembre-octubre). La precipitación caída es variable: aumenta de norte a sur (400-800 mm) y disminuye de costa al interior (800-500 mm). Sin embargo, cada vez es más frecuente la ocurrencia de primaveras con bajas a nulas precipitaciones. De hecho, sobre el 80% de la precipitación acumulada anualmente, se concentra entre mediados a fines de otoño (mayo-junio) e invierno (julio-agosto).

Lo anterior se ve agravado por la condición de que en los últimos cinco años las precipitaciones en el área de secano de la región de O'Higgins, han estado por debajo de los 600 mm (ver capítulo 1), lo que ha afectado la acumulación de agua en el perfil de suelo, y con ello la producción de cultivos. Particularmente, se ha visto afectado el crecimiento de las praderas, ocasionando con ello una baja disponibilidad de forraje para el ganado ovino y bovino, siendo crítico en el período estival.

Lo anterior, repercute considerablemente en el costo de producción de los agricultores, obligándolos a la compra de fardos de alfalfa, como una alternativa de alimentación para sus animales.

Bajo condiciones de escasez de agua en el secano, la falta de alimento obliga a buscar otras alternativas de producción, en la cual, haciendo uso de la técnica de la hidroponía, se puede obtener forraje verde hidropónico (FVH), que puede ser una opción apropiada para pequeños agricultores ganaderos.

El término hidroponía, tiene su origen en las palabras griegas “hydro”, que significa agua, y “ponos”, que significa trabajo. Tradicionalmente se ha entendido como el cultivo de plantas en soluciones nutritivas, que contiene todos los elementos minerales necesarios, para el desarrollo y producción de plantas.

El forraje verde hidropónico consiste en la germinación de semillas de especies gramíneas y leguminosas (poáceas y fabáceas) que pueden ser utilizadas como forrajeras, entre ellas, trigo, avena, centeno, cebada, maíz, alfalfa, entre otras. El método, es bastante antiguo, pues se remonta a la época de griegos y romanos, que hacían germinar la semilla para alimentar su ganado.

La principal característica del forraje verde hidropónico, es la de producir forraje verde sin sustrato, usando bandejas de material inerte, la cuales sostienen las semillas con la humedad suficiente para su crecimiento. Distintos especialistas, sostienen que la germinación por sí sola, incrementa el valor nutritivo de la semilla, sin requerir de suelo, con la ventaja adicional que el tiempo utilizado es corto, y con un nivel de intensidad de producción alto.

La posibilidad de producir forraje verde en bandejas plásticas, es una forma sencilla de entregar a los animales un alimento verde con alto contenido de agua y nutrientes, con una masa y volumen considerable y altamente palatable, sirviendo de alimento a variadas especies de animales y zonas donde el agua es un recurso escaso.

1. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH)

1.1. Eficiencia en el uso de agua

Bajo condiciones de escasez de agua, donde un productor del secano posee un sistema de captación y acumulación de aguas lluvias, utilizando los techos de las casas, la producción de forraje verde hidropónico, resulta una alternativa interesante para producir alimento complementario, para ovejas en período de gestación o parición, y haciendo uso del agua en forma eficiente.

Trabajos realizados por INIA, con 6 microaspersores de 180° por cada estructura de producción de forraje verde hidropónicos, con 30 bandejas, (0,63 L/min a 2,5 bar), con 4 riegos diarios por un período de 15 días, llegó a establecer que se utilizan sólo 226,8 litros en la producción de las 30 bandejas de forraje de 2,6 kg cada una aproximadamente. Si se considera en promedio 18% de materia seca del forraje, se utiliza 13,2 litros por cada kilogramo producido.

Cuadro 1. Gasto de agua para producción de forraje de distintas especies en condiciones de campo.

Especie	L de agua/kg materia seca (*)
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

(*) Promedio de 5 años

Fuente: Carámbula, M. y Terra, J. 2000, Citado por F.A.O., 2001.

Esta gran eficiencia del uso de agua genera grandes oportunidades productivas a agricultores de zonas de secano, donde la sequía se extiende por varios meses y la falta de forraje verde se hace determinante en la producción ganadera.

1.2. Espacio de producción

El forraje verde hidropónico utilizado para la alimentación animal, logra un crecimiento de 20 a 25 cm de altura aproximadamente, permitiendo su producción en estanterías o repisas que aumentan considerablemente la superficie aprovechable. En estructuras diseñadas y construidas por INIA para la pequeña agricultura, se ha podido cosechar más de 75 kg de FVH en 2 m² de superficie, en un diseño de 3 pisos de bandejas equivalente a un volumen de 4 m³. Para estas estructuras, el aprovechamiento de espacio puede ser mayor aún, si el estanque contenedor de agua se ubica al exterior de la misma (ver apartado de Estructura para producción de FVH).

1.3. Tiempo de producción

El período contemplado entre la siembra y la cosecha no supera los 15 días, si se considera buenas condiciones atmosféricas para su crecimiento, como lo es la temperatura y la humedad relativa, además, el crecimiento óptimo del forraje está sujeto a los tiempos y frecuencia de riego.

Por otra parte, el crecimiento puede acelerarse si se incluye en el riego o de forma manual un fertilizante a base de macro y micro nutrientes.

1.4. Inocuidad del forraje

Al establecer una siembra de una sola especie, bajo condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras, se impide que el forraje sea contaminado de fuentes externas, así por ejemplo, no existen malezas o malas hierbas que dañen el organismo de los animales, no hay excrementos de ningún tipo, no está pisoteado, y si se opta por un crecimiento sin fertilizantes químicos, el forraje se transforma en un producto netamente orgánico.

1.5. Bajos costos de producción

Dependiendo del tamaño de la producción de forraje verde hidropónico, dependerá también el costo asociado de insumos, infraestructura y mano de obra disponible para su manejo. No obstante, se considera que la producción de FVH es una alternativa de bajo costo económico, donde las bandejas y módulos de producción serían los de mayor valor, dentro del sistema, más aún si en ellos se considera un riego tecnificado y materiales de mayor durabilidad.

Las estructuras de producción para la pequeña agricultura desarrolladas por INIA, constan de repisas de madera impregnada, una pequeña bomba hidráulica para el funcionamiento del riego y de aspersores de gota fina, el costo no sobrepasa los \$150.000 y su duración se prevé por más de 4 años.

Para el caso de la producción misma, si no se aplican fertilizantes foliares, sólo se considera el costo de la semilla, cloro (para desinfección), agua para riego y electricidad para el funcionamiento de la bomba hidráulica. En base a lo anterior, el costo de la semilla de trigo en el secano de la Región de O'Higgins no supera los \$ 300.- por kilogramo, por lo tanto, con \$ 3.000⁽¹⁾.- se podría producir 30 bandejas y 75 kg de FVH (dosis de 1 kg para 3 bandejas), por otro lado, si el agua es colectada de lluvias, la consideraríamos como un recurso gratis, y por último, el costo eléctrico es mínimo, considerando el funcionamiento de la bomba de riego se realiza sólo 4 minutos por día (un minuto por riego).

1.6. Calidad del forraje

El forraje verde hidropónico cosechado alrededor de los 14 días y una altura entre los 20 a 25 cm es rico en vitaminas A y E espe-

⁽¹⁾ Precios a diciembre de 2015.

cialmente, contiene carotenoides, alto contenido de hierro, calcio y fósforo, además, posee una alta digestibilidad por los animales debido a la baja presencia de lignina y celulosa.

En el **Cuadro 2**, se puede observar que especies como Triticale y Avena, superan el 20% de materia seca.

Cuadro 2. Resultados de laboratorio para diferentes parámetros relacionados a la calidad del forraje verde hidropónico. INIA, 2014.

Determinaciones	Expresión	Avena	Centeno	Triticale	Trigo
Materia seca	%	21,57	19,54	22,36	14,32
<i>Base materia seca</i>					
Proteína cruda	%	17,33	26,17	24,32	26,96
Fibra cruda	%	20,23	18,24	15,87	17,91
Extracto étereo	%	6,06	4,57	4,45	4,80
Cenizas	%	3,69	3,16	3,32	3,23
Extracto no nitrogenado	%	52,69	47,86	52,04	47,10
Calcio	%	0,05	0,05	0,05	0,03
Fósforo	%	0,08	0,09	0,10	0,06
Relación Ca/P	-	0,61	0,57	0,53	0,58
Energía bruta	Mcal/kg	4.832	4.810	4.710	4.784
Energía digestible (rumiantes)	Mcal/kg	3.395	3.558	3.546	3.575
Energía metabolizable (rumiantes)	Mcal/kg	2.784	2.918	2.908	2.932

Nota: La energía metabolizable está calculada según la fórmula EM (Mcal/kg)= 0,82 x ED.

En el Cuadro 2, también se muestran los resultados de análisis para cuatro especies gramíneas producidas y cosechadas bajo producción hidropónica en INIA.

2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

El FVH es una técnica sencilla, dinámica y rápida de producir, es por ello que es recomendable para la agricultura familiar campesina en períodos de escasez hídrica, porque con un bajo consumo de agua, pueden llegar a producir una fuente importante de alimentación para sus animales, y a un bajo costo.

La producción de FVH, se desarrolla en nueve etapas:

2.1. Selección de la semilla

Para este tipo de forraje se utiliza principalmente semillas de gramíneas, como trigo, avena, centeno, triticale, cebada, o maíz (**Figura 1**). El uso de ellas, se debe fundamentalmente a la oferta en zonas de secano, y a su bajo costo durante todo el año. En el caso del trigo, se requiere semilla de trigo corriente, la que normalmente el productor del secano siembra en su predio, y para ello es necesario contar con un porcentaje de germinación de la semilla sobre un 90%, y que además esté libre de semillas de malezas u otras impurezas.



Figura 1. Principales tipos de semillas gramíneas utilizadas para la producción de FVH.

2.2. Dosis de siembra

Para el caso de semillas de Trigo, Avena, Cebada, Centeno y Triticale, referencialmente se utiliza una dosis de 300 a 350 gramos (g) por cada bandeja de dimensiones 35,5 cm x 45 cm, es decir se utiliza un kilo de semilla a ser distribuida en tres bandejas. Para el caso del maíz la dosis se debe aumentar entre 500 a 600 gramos por bandeja, lo que significa utilizar 2 bandejas por kilo de Maíz.

2.3. Remojo o pregerminación de las semillas

Esta etapa es fundamental, para alcanzar el éxito en la producción de forraje verde hidropónico. Se procede a la imbibición de la semilla para activar el proceso de germinación. En esta fase, las semillas se embeben en agua limpia durante un período máximo de veinticuatro (24) horas, considerando a las 12 horas un receso u oreado de 1 hora, para generar oxigenación adecuada a la semilla, lo que se consigue vaciando el recipiente del agua. Transcurrida la hora de receso, se llena de agua limpia el recipiente que contiene las semillas, y se continúa con el proceso de imbibición (**Figura 2**). En esta etapa, es necesario eliminar las impurezas o semillas que no germinaron (inviabiles), que son aquellas que flotan en el agua.



Figura 2. Proceso de remojo o pre-germinación de semillas.

Es recomendable, que el recipiente utilizado para el remojo de la semilla sea de material plástico, y no necesariamente translúcido.

En evaluaciones realizadas por INIA, para las semillas de trigo, centeno y cebada, se ha determinado que con una imbibición de 24 horas, la germinación de la semilla alcanza un porcentaje superior al 90%. Suficiente como para lograr un forraje verde hidropónico de calidad.

Posteriormente al proceso de imbibición o de remojo de la semilla, según la especie, esta puede aumentar entre un 45 a un 60% de su masa (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Aumento de masa (g) de semillas al ser embebidas en agua por 24 horas.

Especie	Tiempo de imbibición (h)	Peso inicial semilla seca (g)	Peso final hidratada (g)	Aumento de masa (%)
Trigo	24	330	503	52,4
Cebada	24	330	494	49,7
Centeno	24	330	549	66,4
Triticale	24	330	526	59,4
Avena	24	330	504	52,7
Maíz	24	500	677	35,4

Esto refleja la importancia de pesar la semilla a utilizar, ante del proceso de imbibición. Por ejemplo 1 kilo de semilla de trigo después de la imbibición, de acuerdo al cuadro 3, pesa 1,5 kilos aproximadamente, lo que significa 0,5 kilos de semilla húmeda por bandeja.

2.4. Desinfección y lavado de semillas

La desinfección de las semillas, tiene como principal objetivo disminuir o anular la proliferación de hongos durante el crecimiento del forraje. Para ello, una forma sencilla y económica de desinfectar la semilla posterior a la etapa de pre-germinación, es sumergir la semilla en una solución de hipoclorito de sodio (Cloro) al 1%, es decir, 10 ml de cloro en 1 litro de agua limpia, y por un tiempo no mayor a los 2 minutos, porque un tiempo mayor podría dañar la viabilidad de la semilla.

Posterior a la desinfección con cloro, se procede a un enjuague con agua limpia, y finalmente se realiza la siembra directa sobre las bandejas.

2.5. Siembra

Una vez que las semillas se encuentran hidratadas y desinfectadas, se procede inmediatamente a la siembra. La dosis indicada para cada especie en el apartado 2.3., permite que una bandeja de dimensiones 45 cm x 35,5 cm y con una superficie aprovechable de 0,124 m² ó 1.240 cm² (40 cm x 31 cm) quede cubierta completamente.

La bandeja utilizada, son de material polietileno, las que usualmente se utilizan en casinos para el servicio de comidas (**Figura 3**). Estas tienen la particularidad de no oxidarse, ser resistentes, fácil de lavar, ser livianas, ser reutilizables, y apilables unas sobre otras.

Antes de la siembra de las semillas, las bandejas deben ser perforadas al menos en uno de sus extremos. Se recomienda realizar entre 3 a 5 perforaciones de 5 mm en uno de los costados de la bandeja (**Figura 4**), para permitir que escurra el exceso de agua de riego, y además evitar que las semillas queden sumergidas, evitando así la pudrición de las mismas.



Figura 3. Bandeja de polietileno sembrada con 330 gramos de semilla seca de trigo, que corresponde a 500 gramos, aproximadamente, de semilla después de la imbibición.



Figura 4. Perforación de bandejas para facilitar el escurrimiento de agua de riego.

2.6. Germinación

Las semillas necesitan de ciertos factores externos para poder desarrollar su proceso de germinación. Entre los más importantes se mencionan temperatura, humedad, oxígeno, y oscuridad. Cuando uno o más factores son deficientes, existe la probabilidad que la germinación y la formación de la planta no llegue a buen término.

Para el caso de la temperatura, aquella que se produce entre los meses de octubre y abril es suficiente para iniciar el proceso de germinación y crecimiento de las plántulas. Para los meses de mayo a septiembre, ésta debe ser suministrada de forma artificial por equipos generadores de calor. Para la humedad, se recomienda realizar dos riegos diarios (en la etapa de germinación) para mantener la semilla hidratada (ver apartado de riego).

Para dar la oscuridad adecuada y suplir la capa de suelo presente en una siembra tradicional, las semillas deben ser ubicadas en una cámara oscura, o se tapan con un plástico color negro. Tanto el material, como el color, otorgarán la temperatura y oscuridad requerida para la germinación de las semillas. El retiro de las semillas germinadas desde la cámara de oscuridad, y traslado a su ubicación final en estanterías o repisas, debe ser hecho cuando el brote alcance un crecimiento de 2 cm aproximadamente (**Figura 5**).



Figura 5. Forraje de 2 a 3 cm aproximadamente. Posterior al proceso en la cámara de oscuridad.

2.7. Ubicación en estructuras de producción de F.V.H, y riego

Una vez que las bandejas se han retirado de la cámara de oscuridad y los brotes del forraje alcanzaron un crecimiento de al menos 2 cm, se procede a ubicar las bandejas en las estanterías

o repisas definitivas de estructuras para la producción del forraje verde hidropónico. El objetivo que se persigue, es conseguir que el forraje quede expuesto a la luz, temperatura, y una alta humedad relativa.

Idealmente, se deben ubicar las estructuras dentro de un invernadero, de manera de proporcionar las condiciones ideales para el crecimiento del forraje. En el caso que no se disponga de invernaderos, si las temperaturas son bajas, la estructura puede ser cubierta con polietileno transparente y generando espacios de ventilación. En ningún caso, el forraje debe quedar expuesto en forma directa al sol, porque se quemará y no logrará crecer. El mismo caso sucederá, si el forraje queda expuesto a temperaturas por sobre los 32° C. Incluso, las especies trigo, avena, cebada, triticale, y maíz no logran crecer con esas temperaturas. Sólo el centeno, puede soportar hasta 36° C de temperatura ambiental.

Idealmente, las estructuras de producción de forraje verde hidropónico, deben contar con un sistema de riego por aspersión de gotas finas, con la finalidad de humedecer el forraje de forma homogénea en todos sus niveles. El agua a aplicar con riego, puede ser realizado con aplicadores manuales, pulverizadores de mochila, o aspersores conectados a una fuente de agua. Los riegos se deben realizar 3 a 5 veces por día, en la etapa de crecimiento, y dependiendo del tamaño del forraje y la temperatura ambiente a la cual esté sometido (ver capítulo 8, sobre construcción de estructuras para producción de forraje verde hidropónico).

2.8. Fertilización

Las semillas de cereales contienen energía suficiente para el crecimiento del forraje en su primera etapa. Cuando las plantas hayan logrado una altura promedio de 5 cm, se suministra un fertilizante foliar a base de macro y micronutrientes, con el objeto de acelerar el crecimiento. Sin embargo, en trabajos realizados

por INIA (**Figura 6**) los forrajes de gramíneas (a excepción del maíz), bajo condiciones climáticas de la Región de O'Higgins, logran un crecimiento promedio de 22 a 25 cm en 16 días de producción, desde el momento de la siembra en las bandejas. Esto refleja que el suministro de agua, a través del riego por aspersión, es suficiente para el crecimiento de forraje, en un período aproximado de dos semanas. Además, el no usar fertilizantes inorgánicos, permite que el forraje verde sea un alimento completamente orgánico e inocuo.



Figura 6. Crecimiento de especies de gramíneas, bajo condiciones de hidroponía.

En Chile, en los últimos años ha surgido una corriente entre los que buscan alimentos sanos, que se ha orientado al consumo de Wheatgrass, que no es más que un germinado de trigo, que se le deja crecer hasta unos 15 cm y se usa la hoja, siendo considerado como un "super alimento" debido a la cantidad de vitaminas y minerales que posee. Además, es un alimento apto para celíacos, porque aunque sea trigo no contiene gluten, ya que este se encuentra en la semilla.

En el caso particular del trigo, y de acuerdo a lo anterior, la producción de forraje verde hidropónico, también puede ser una excelente alternativa como alimento humano, al ser utilizado como Wheatgrass, es decir como un pregerminado de trigo.

2.9. Cosecha

Cuando el forraje haya alcanzado una altura superior a los 20 cm, que se alcanza aproximadamente en 15 días, se encuentra en condiciones de ser cosechado y en condiciones para ser entregado a los animales.

El forraje no requiere de cortes, la entrega a los animales es total incluyendo las raíces, pues la masa vegetativa queda dispuesto como un bloque, el cual es de fácil entrega (**Figura 7 y 8**).



Figura 7. Cosecha de forraje verde hidropónico dispuesto como un bloque, incluyendo raíces, tallos y hojas.



Figura 8.
Forraje verde hidropónico utilizado para alimentación avícola.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Douglas, J. 1972.** Como cultivar sin tierra. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina, Librería El Ateneo Editorial, 156 p.
- F.A.O, 2001.** Manual Técnico. Forraje verde hidropónico. TCP/ECU/066. "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del ANNFA". Santiago, Chile. 69p.
- Pérez, N. 1987.** Efecto de la sustitución del concentrado por forraje obtenido en condiciones de hidroponía, en una crianza artificial de terneros Tesis de Grado, para Optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de Concepción. 58p.
- Resh, H., 1982.** Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 284p.
- Squella, F., 2014.** Uso de cubiertas vegetales, para la conservación del complejo suelo-agua y la producción animal. Informativo INIA-Rayentué, N° 43, 3ª parte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Rengo, Chile. 4p.
- Villavicencio P., A. 2014.** Producción de Forraje Hidropónico. Boletín INIA N° 285. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. 44p

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE MADERA PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

*Patricio Abarca Reyes | Cristian Aguirre Aguilera
Jorge Carrasco Jiménez*

En el Capítulo 7, se definió que la producción de forraje verde hidropónico, requiere, entre otros, de una estructura de madera, riego tecnificado, y bandejas plásticas para producirlo. Estas bandejas deben ir ubicadas sobre una estructura especialmente diseñada para sostener entre 25 a 30 bandejas, permitiendo incorporar sobre ellas riego por aspersión, con tamaño de gota fina, logrando así una gran eficiencia en el uso del agua, y reduciendo la mano de obra para su producción. En el presente Capítulo, se describe la metodología y materiales necesarios para la construcción de una estructura, necesaria para la producción de forraje verde hidropónico, que ha sido diseñada y evaluada por INIA, y que se recomienda para la agricultura familiar campesina.

1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se propone una estructura de madera de fácil construcción, que permite la producción de 30 bandejas de forraje verde hidropónico (FVH) en forma simultánea. Es una estructura de fácil construcción, y que además por ser de madera, es de bajo costo. Para la fabricación de ella, se deben seguir las siguientes etapas:

Etapa 1:

Habrán de construirse dos rectángulos con madera de pino de 2" x 2", y cada rectángulo con una dimensión externa de 1 m (100 cm) x 2 m (200 cm) (**Figura 1**). Deben usarse tornillos de 4 pulgadas más cola fría para unir cada segmento.

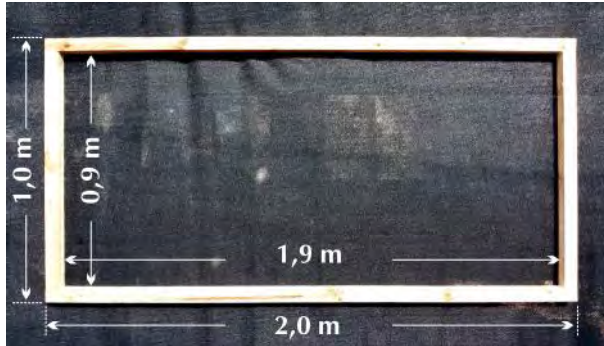


Figura 1. Base rectangular de madera, a ser usada en la parte superior e inferior de la estructura.

Los rectángulos armados serán parte de la base inferior y superior de la estructura (si las dimensiones, tanto de las bandejas como de la madera no coinciden con lo señalado, se debe reacondicionar el diseño de la estructura).

Etapa 2:

Se debe dimensionar 4 pilares de 1,9 m (190 cm) con madera de pino de 2" x 2". Los pilares unen en cada esquina, los rectángulos armados en la Etapa 1. Habrán de utilizarse tornillos de 4 pulgadas y cola fría para unir los segmentos. Una vez que se han fijado los pilares, se ha de reforzar con esquineros de madera de al menos 40 cm en la base de la estructura. Para ello, se debe usar tornillos de 3 pulgadas y cola fría (**Figura 2**).

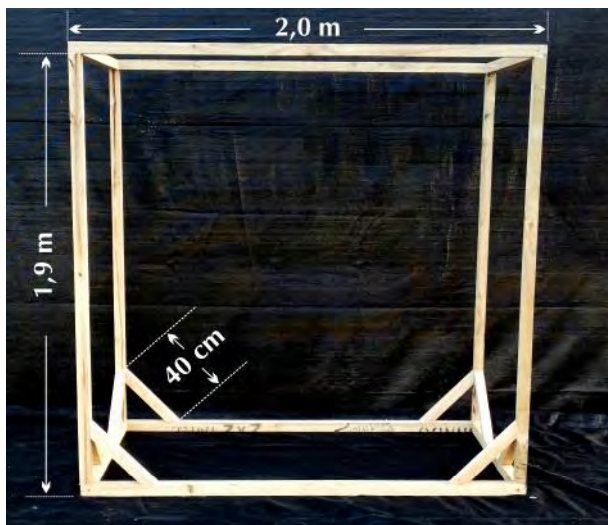


Figura 2. Unión de bases rectangulares a través de pilares y diagonales que permiten la estabilidad de la estructura.

Etapa 3:

Se hace necesario dimensionar con madera de pino de 2" x 2", 6 pilares que se ubicarían por ambos costados de la estructura. Dos de ellos, de 106 centímetros, y cuatro de 79 centímetros. Los primeros se ubicarán en la parte superior de la estructura y centrados, y los cuatro restantes se situarán en la parte inferior, distanciados a diez centímetros desde el centro y a veinte centímetros entre ellos (Figura 3).



Figura 3. Vista lateral de la estructura, con pilares cortos para fijar el estanque y las repisas horizontales.

Etapa 4:

Entre los pilares ubicados en los extremos, se fijan horizontalmente soportes de madera de pino de 2" x 2" con la finalidad de sostener las bandejas con el forraje. Los soportes externos deben quedar a un desnivel de 2 a 3 cm respecto a los internos, de tal modo que las bandejas inferiores reciban el agua que cae por gravedad desde las bandejas superiores (**Figura 4**). Las bandejas más basales, finalmente depositarán el agua en la canaleta de PVC que va hacia el estanque acumulador.



Figura 4. Vista frontal de la estructura, con soportes horizontales para sostener las bandejas.

Etapa 5:

En un costado de la estructura y por su interior, colóquese una base de madera para fijar el estanque de 60 litros.

Al interior y en la base del estanque, habrá de instalarse un filtro de succión y una salida de estanque para tubería de 32 mm. Esta última llegará hasta la aspiración de la bomba (**Figura 5**).

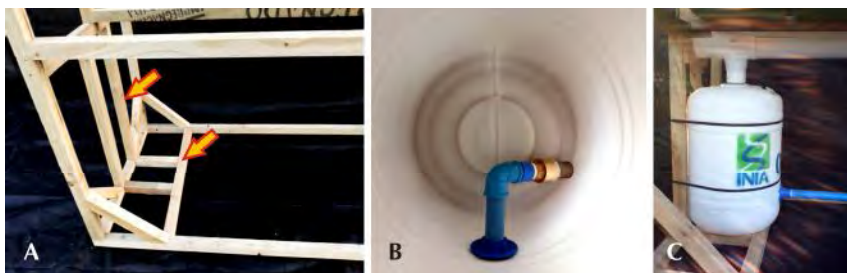


Figura 5. Sistema de acumulación de agua. A) Base de madera para fijación de estanque; B) Vista interna del estanque, con filtro de succión y salida; C) Fijación del estanque a la estructura.

Etapa 6:

En ambos extremos de la estructura, se debe ubicar una sujeción para canaleta de PVC (puede ser una madera de 1"x4", cortando de ella un semicírculo). Debe además dimensionarse una canaleta de PVC de acuerdo al largo de la estructura. Justo sobre el estanque acumulador, se ha de colocar una bajada de PVC para devolver el agua sobrante desde las bandejas y el retorno de la bomba (**Figura 6**). Se debe considerar una pendiente de al menos 2 cm a la canaleta de PVC y cada extremo debe cerrarse con tapas del mismo material. Se recomienda lijar todas las uniones, para facilitar el pegado del PVC.

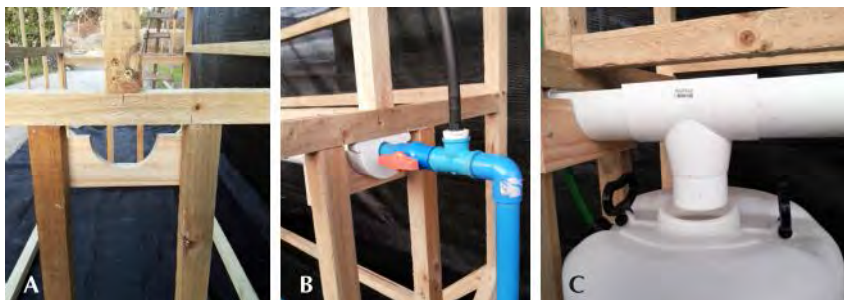


Figura 6. Instalación de canaletas colectora de agua. A) Corte de madera en semicírculo, para ubicación de canaleta; B) Extremo de la canaleta, para recibir retorno de agua de la bomba; C) Instalación de bajada de PVC, para retorno de agua al estanque acumulador.

Etapa 7:

La tubería proveniente desde la base del estanque, debe conectarse a la entrada de succión de la bomba. Se recomienda instalar una válvula de paso con unión americana antes de la entrada.

A la salida de la bomba (impulsión), conectar tubería de PVC de 32 mm en forma de L, de tal manera que el extremo distal llegue hasta la canaleta de PVC y el exceso de agua pueda regresar hasta el estanque.

Inmediatamente a la salida de la bomba, se sugiere instalar una unión americana de 32 mm (sólo para facilidad de traslado), luego una TEE de PVC con salida HI y finalmente una llave de paso de PVC de 32 mm, teniendo esta última la función de válvula reguladora de caudal y presión hacia los aspersores (**Figura 7**). Se recomienda además lijar todas las uniones, para facilitar un buen pegado del PVC.

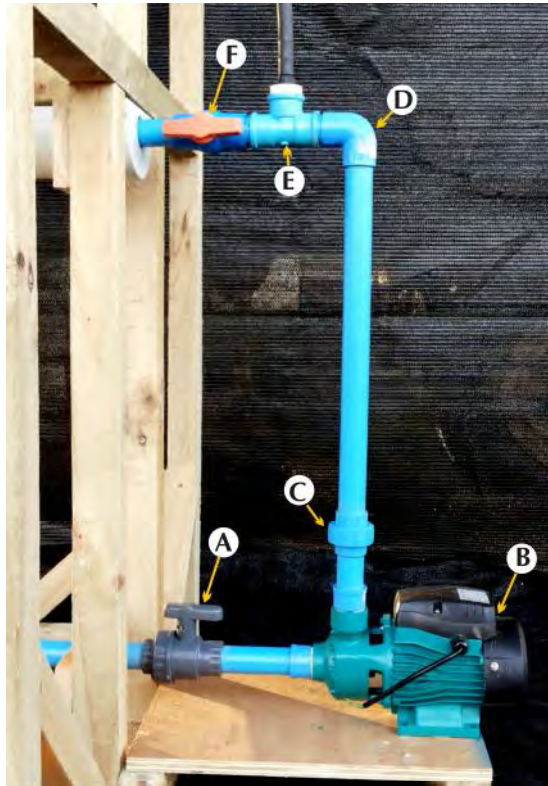


Figura 7.

Sistema de succión e impulsión de agua.

- A) Válvula de paso con unión americana;
- B) Bomba hidráulica;
- C) Unión americana;
- D) Codo de PVC;
- E) TEE de PVC con salida lateral HI;
- F) Válvula de paso.

Etapa 8:

Desde la TEE de PVC de 32 mm con salida HI, se instalará un buje de reducción de PVC de 1 pulgada a ½ pulgada. Al interior de éste habrá ubicarse un terminal de plansa de ½ pulgada y finalmente la tubería de polietileno (plansa) la cual llevará el agua por el centro y parte superior de la estructura (Figura 8, izquierda). La tubería de polietileno finalmente llegará hasta el estanque para devolver el exceso de agua, la cual contendrá otra llave de paso que funcionará como una segunda válvula reguladora de caudal (Figura 8, derecha).

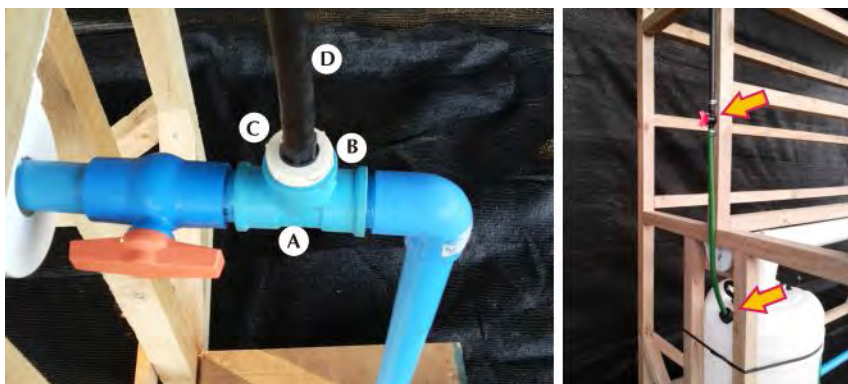


Figura 8. Imagen izquierda: impulsión de agua hacia los aspersores. A) TEE de PVC con salida HI de 1"; B) Buje de reducción de 1" a ½"; C) Terminal de plansa HE de ½"; D) Plansa de polietileno de ½". Imagen derecha: extremo terminal del circuito de agua.

Etapa 9:

Una vez fijada la plansa de polietileno en la parte superior, se debe perforar la tubería por el costado de la estructura con seis orificios de 4 mm, considerando dos orificios para dos aspersores por cada nivel de bandejas. En cada orificio se ubicarán coplas de microtubo unidas a manguera de 4 mm, estas últimas conectadas a un aspersor "microjet" de 180°. Cada micro aspersor se fijará al interior de una tuerca tamaño 5/16" que debe soldarse

a una pletina 12 x 3 mm (**Figura 9**). Se recomienda ubicar dos aspersores opuestos por cada nivel y a 25 cm por sobre el nivel de las bandejas.



Figura 9. Imagen izquierda: sujeción de aspersor en tuerca tamaño 5/16"; Imagen derecha: vista de aspersor microjet para abanico de 180°, conectado a micro tubo de 4 mm.

Etapa 10:

Es necesario ubicar bandejas que se encuentren perforadas y con semillas germinadas, debiendo realizarse riegos cortos y frecuentes, de tal forma que el forraje se mantenga húmedo la mayor parte del tiempo. El forraje puede ser suministrado a los animales cuando haya alcanzado una altura promedio de 20 a 25 cm.

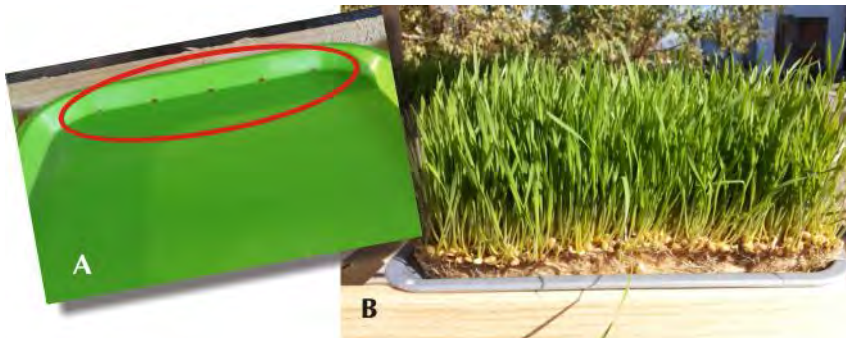


Figura 10. A) Perforaciones hechas en bandejas plásticas, para drenar el exceso de agua. B) Forraje hidropónico de 15 a 20 cm de altura.



Figura 11. Vista frontal de la estructura, terminada, para producción de forraje hidropónico.

3. MATERIALES Y COSTOS

La construcción de una estructura de forraje verde hidropónico para 30 bandejas, requiere de los siguientes materiales y costos:

Cuadro 1. Detalle de materiales y costos para la construcción de una estructura de forraje verde hidropónico para 30 bandejas (valores obtenidos con IVA, al 30 de noviembre de 2015).

Detalle	Cantidad a utilizar	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Madera pino impregnada 2 x 2 x 3,2	18	1.560	28.080
Bomba periférica 0,5 hp	1	34.460	34.460
Tornillos 8 x 3"	36	28	1.008
Pegamento para madera (cola fría)	1	640	640
Tornillos para madera de 4"	36	115	4.140
Plansa polietileno 1/2"	5	242	1.210
Codo polietileno 1/2"	2	156	312

Continuación Cuadro 1.

Detalle	Cantidad a utilizar	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Terminal polietileno HE 1/2"	1	166	166
Válvula de paso para plana 5/8"	1	1.640	1.640
Tubería PVC 32 mm x 3 m	1	1.790	1.790
Llave PVC SO 32 mm	1	2.578	2.578
Llave PVC unión americana 32 mm	1	2.836	2.836
TEE PVC SO - HI - SO; 32 - 1" - 32 mm	1	922	922
Buje reducción hilo HE - HI; 1" - 1/2"	1	446	446
Filtro de pie 32 mm	1	4.212	4.212
Terminal PVC HE - SO; 1" - 32 mm	4	244	976
Salida de estanque 32 mm	1	1.356	1.356
Codo PVC 32 mm	1	236	236
Aspersor microjet 180°	6	296	1.776
Microtubo 4 mm x 10 m	1	2.078	2.078
Acople microtubo 4 mm	6	82	492
Adhesivo PVC con pincel 250 cc	0,5	2.042	1.021
Teflón	0,5	724	362
Abrazaderas metálicas 5/8"	6	96	576
Roscalata 3/8"	10	32	320
Tuercas 5/16"	6	46	276
Canaleta PVC blanca	0,5	5.145	2.573
Tapa universal PVC	2	932	1.864
Bajada canaleta PVC	1	3.524	3.524
Ángulo doblado 20 x 2 mm x 6 m	0,33	2.532	836
Unión americana 32 mm	1	2.840	2.840
Estanque 60 litros	1	28.520	28.520
Bandejas plásticas 35 cm x 45 cm	30	1.235	37.050
Total \$			171.115
Total U.F del 30 de noviembre de 2015			6,7