

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO, SINÓNIMO DE AGUA SEGURA

RAINWATER COLLECTION SYSTEMS FOR HUMAN CONSUMPTION, SAFE WATER SYNONYMOUS

Basán Nickisch, Mario¹; Sánchez, Luciano²; Tosolini, Rubén³; Tejerina Díaz, Fabián⁴; Jordan, Patricia⁵

Resumen

En el norte de la Provincia de Santa Fe, Argentina, el agua subterránea presenta condicionantes por exceso de sales y/o elementos tóxicos para el consumo humano y el riego de huertas, por lo que se considera estratégico la utilización del agua de lluvia como seguridad hídrica para satisfacer la demanda de la dieta de las familias.

Para ello el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la República Argentina investiga generando, adaptando, validando y transfiriendo alternativas de Sistemas de Captación y Aprovechamiento de agua de Lluvia (SCALL) utilizando tecnologías apropiadas y apropiables.

El objetivo prioritario es dar respuesta a la demanda de agua para consumo humano y de autoconsumo teniendo en cuenta la calidad físico-química y microbiológica garantizando que el agua sea segura, libre de gérmenes patógenos y que no contenga elementos tóxicos.

La metodología consistió en analizar la cantidad anual de milímetros de precipitación mediante estudios probabilísticos con períodos de retorno pequeños, que el agua no presente pH bajo debido a la influencia de elementos industriales locales ni elementos tóxicos producto de la volatilidad en la aplicación de agroquímicos.

La superficie de los techos necesaria, la demanda, el dimensionamiento de las canaletas, cañerías de bajada, almacenamiento, y los mecanismos de tratamiento constituyen el protocolo básico para estos sistemas.

Como resultado de este proceso se disponen de alternativas de diseño y de tratamiento que permiten garantizar agua segura según los usos planificados. Actualmente en la región se han concretado sistemas con las tecnologías desarrolladas por INTA, articulando con diversas instituciones nacionales, provinciales y locales.

Palabras clave: Agua segura para consumo humano, agua de lluvia, riego de huertas, tecnología apropiada.

Abstract

In the north of the Province of Santa Fe, Argentina, groundwater presents limitations due to excess salts and / or toxic elements for human consumption and irrigation of orchards, for which it is considered strategic the use of harvested rainwater as a security measure in order to meet the demand for the families' diet.

To this end, the National Institute of Agricultural Technology (INTA) of the Argentine Republic investigates generating, adapting, validating and transferring rainwater harvesting and utilization systems (SCALL) by using appropriate technologies.

The priority objective is to respond to the demand for human consumption and self-consumption while taking into account the physico-chemical and microbiological that characterizes safe drinking water.

The methodology consisted in analyzing the annual precipitation data by probabilistic studies with low return periods that the water does not present low pH due to the influence of local industrial elements or toxic elements due to the volatility in the application of agrochemicals.

The required roof surface, demand, sizing of gutters, downspouts, storage and treatment mechanisms are the main components of these systems.

As a result of this process, design and treatment alternatives are available to ensure safe water according to planned uses. Currently in the region, systems have been implemented with technologies developed by INTA in collaboration with various national, regional and local institutions.

Keywords: Safe water for human consumption, rain water, irrigation of orchards, appropriate technology.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. basannickisch.mario@inta.gob.ar.

² sanchez.luciano@inta.gob.ar

³ tosolini.ruben@inta.gob.ar

⁴ tejerina.fabian@inta.gob.ar

⁵ jordan.patricia@inta.gob.ar

1. INTRODUCCIÓN

En regiones donde el agua subterránea no es químicamente apta de forma directa para el consumo humano es válido analizar la posibilidad del aprovechamiento de las precipitaciones para dicho uso.

Históricamente, varios lugares de Argentina se han abastecido con las precipitaciones, existiendo la cultura del aprovechamiento del agua de lluvia, no solo para el consumo humano, sino también para usos múltiples.

Los aljibes tradicionales se basan en el aprovechamiento del agua de lluvia que se capta de los techos, conduciéndola por canaletas con cañerías que terminan en un depósito central. En pocos casos existe un paso previo en donde el agua sucia inicial se desvía y/o pasa por un decantador de sedimentos.

Algunos de los problemas de estos sistemas consisten en que:

- Son contruidos sin el diseño apropiado ni las normas constructivas adecuadas y se ocupan materiales de baja calidad.
- Las áreas de captación no tienen las dimensiones acordes a las precipitaciones del lugar ni al volumen que se requiere captar. Sus materiales son inadecuados para poder captar el agua de lluvia de manera eficiente.
- Las canaletas y bajadas no tienen el tamaño necesario para conducir toda el agua captada por los techos hacia los depósitos.
- Entre la superficie de captación (los techos) y el depósito no hay mecanismos que garanticen el filtrado de los materiales que pudieran existir al momento de las lluvias (material vegetal, insectos, sedimentos, etc.) lo que pone en riesgo la calidad del agua almacenada.

Los depósitos de almacenamiento no disponen de cierre superior hermético, ni de mecanismos de bombeo estancos para extraer el agua, tampoco mecanismos de rebalse que prevean el no ingreso de alimañas, roedores, insectos, etc., ni mecanismos de tratamiento bacteriológico del agua para considerarla segura para el consumo humano.

Una parte importante de estos sistemas son los depósitos, los cuales pueden ser de mampostería, ferrocemento, placas de cemento, plástico. Su aplicación dependerá del análisis de cada lugar referido a la inversión inicial, capacidad constructiva local, acceso a los materiales, vida útil, aceptación por parte de los usuarios. Se recomienda realizar la evaluación de riesgos de movimientos sísmicos y la presencia de arcillas expansivas en el perfil del suelo.

El INTA dispone de experiencias con estas diferentes tecnologías y se investiga el comportamiento de estos materiales en los ambientes donde se concretan, analizando ventajas y desventajas (Basán Nickisch, 2012a).

La ubicación de los depósitos no es un dato menor, ya que deben estar lo más alejados posible de los potenciales focos de contaminación, como son letrinas, pozos sépticos, criaderos de animales, depósitos de basuras y de las raíces de árboles cercanos.

Los depósitos deben diseñarse acorde a la demanda, es decir, que su tamaño dependerá del número de integrantes que se van a abastecer y/o de la producción a la que se destine, por ejemplo riego hortícola o abrevado de animales de granja.

Las dimensiones de los techos, canaletas y bajadas deben tener en cuenta las precipitaciones del lugar, el volumen anual que precipita y su distribución en el tiempo, así como su análisis probabilístico. El tamaño del aljibe dependerá de la distribución mensual de las precipitaciones en el año y de la demanda que se piensa abastecer. De esa manera se garantiza el llenado anual del depósito.

Como objetivo principal del presente trabajo se planteó *dar respuesta a la demanda de agua para consumo y uso humano con el agua de lluvia*.

Y como objetivo específico se planteó que el agua sea segura, es decir, libre de gérmenes patógenos que puedan enfermar a la población, que no contenga elementos tóxicos propios del ambiente donde se producen las precipitaciones y que los sistemas se planifiquen a la demanda (Basán Nickisch et al., 2012c).

2. METODOLOGÍA

Los sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia constan de los siguientes elementos (Figura 1)

- Área de captación.
- Sistema de canaletas y bajadas.
- Sistema de prefiltrado, cucharas y cámaras de inspección.
- Sistema de filtrado.
- Depósito de almacenamiento.
- Mecanismo de bombeo para extraer el agua.
- Tratamiento microbiológico.

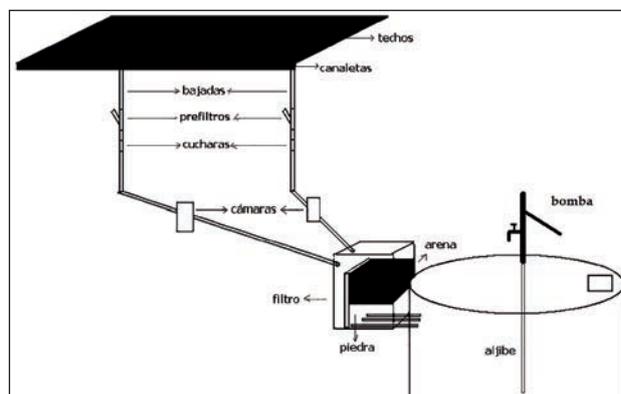


Figura 1. Croquis de un sistema de aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano

El área de captación consiste en superficies bien acondicionadas o nuevas, preferentemente techos de las viviendas o instalaciones con superficies aptas para “cosechar” agua de lluvia de manera eficiente. Las características de esta superficie son clave para garantizar el llenado del depósito en base a las precipitaciones locales.

La dimensión del área de captación se calcula a partir del análisis de las lluvias del lugar o cercanas, siendo recomendable contar con series de precipitaciones

anuales lo suficientemente extensas (30 a 40 años como mínimo) para contemplar períodos hidrológicos secos, húmedos y medios.

En la Figura 2 se puede apreciar la alta componente aleatoria de la variable precipitación, muy común en regiones semiáridas y áridas. Por ello no se recomienda trabajar con los valores promedio históricos para captar agua de lluvia, ya que durante muchos años no se podrá satisfacer la demanda planificada.

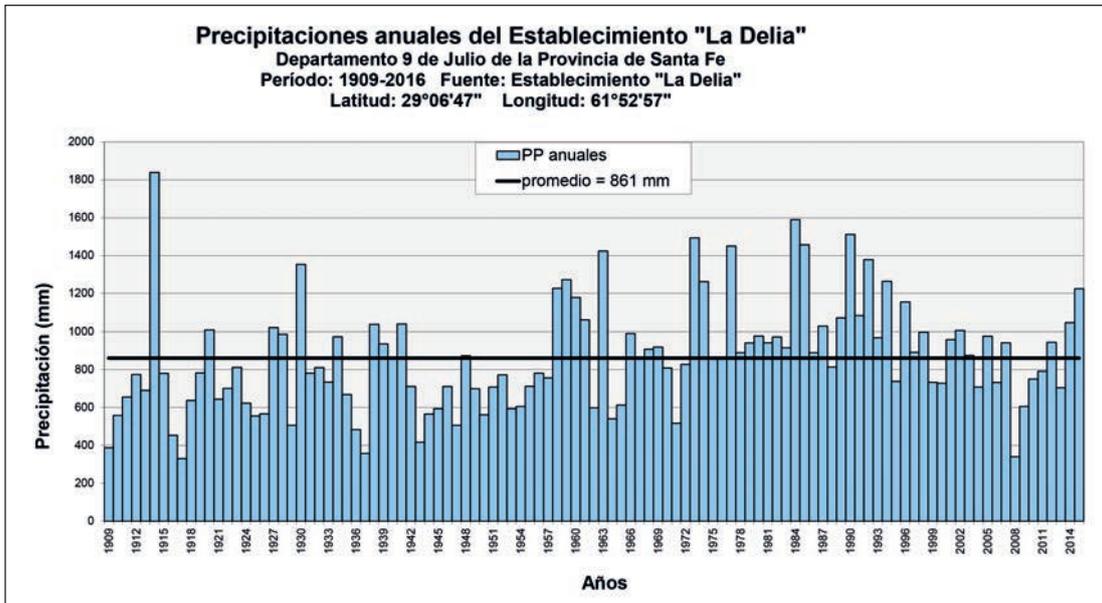


Figura 2. Precipitaciones anuales del Establecimiento La Delia, Departamento de 9 de Julio, Provincia de Santa Fe, Argentina

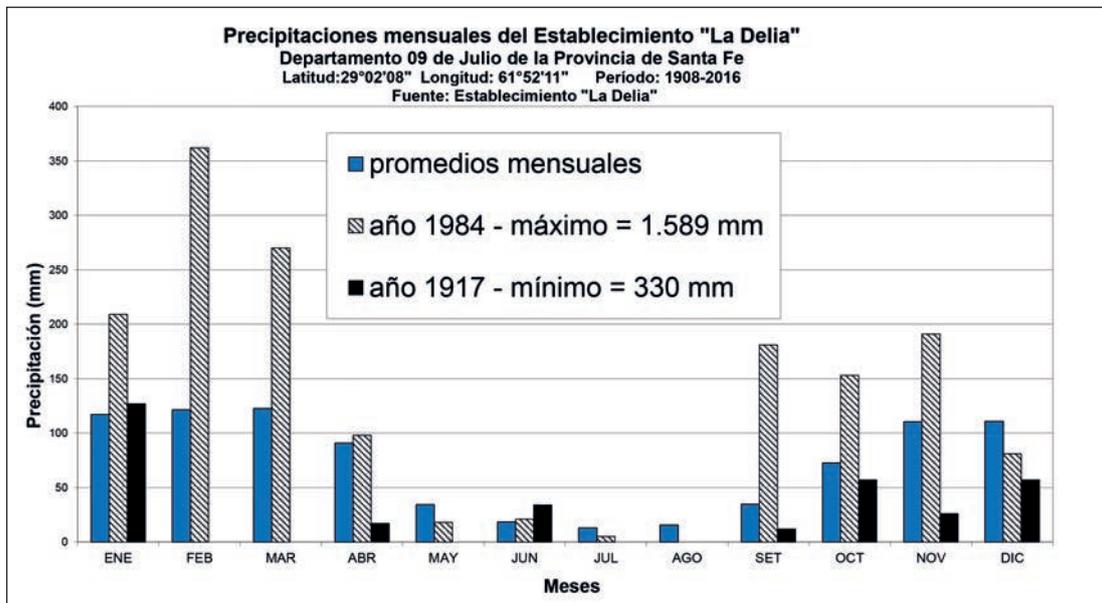


Figura 3. Distribución mensual promedio de lluvias en El Establecimiento La Delia, Dpto. 9 de Julio, Provincia de Santa Fe, Argentina, conjuntamente con los años de menor y mayor valor de la serie analizada

Para obtener la lluvia de diseño se deben realizar los análisis probabilísticos de esta variable aplicando modelos desarrollados para tal efecto (Normal, Log Normal, Wakeby, Pearson, Log Pearson,

Exponencial, General de Valores Extremos), donde en base a elegir los menores errores cuadráticos medios de la varianza y de la frecuencia, se opta por un valor de diseño que corresponda a un período

de retorno bajo, $T_r = 1,25$ años para este estudio, para así procurar el abastecimiento de agua durante todo el año en todos los años, adoptando entonces la lluvia de diseño.

La distribución de las precipitaciones durante el año debe tenerse en cuenta para adoptar el tamaño del depósito necesario para satisfacer la demanda (Figura 3).

La otra variable de diseño importante es la demanda que se debe cubrir, por ello se analiza la población de diseño y sus características, priorizando el consumo personal e higiene de los alimentos, utensilios de uso diario, etc., partiendo con una dotación de 2 a 3 litros diarios por persona, que se irá incrementando si el aljibe también servirá para efectuar riegos a la huerta, para el aseo personal, para el consumo de animales de granja, etc. (Anaya Garduño, 1998).

Esa variable (cantidad de personas que se deben abastecer) se calcula en base a la curva de crecimiento de la población a 20 ó 30 años, o directamente en zonas rurales se realiza un incremento en un 20 ó 30% de la población actual que se quiere abastecer (Basán Nickisch, 2012a).

Se asume que un 10% del agua que cae en la superficie de captación no llega al depósito de agua por salpicaduras ante lluvias de alta intensidad.

Por lo tanto, la superficie de captación de agua de lluvia se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Superficie} = \text{Volumen} / \text{Altura}$$

Dónde:

Superficie: es la superficie de captación de diseño del sistema que se busca (m^2).

Volumen: se calcula en base a la población de diseño, teniendo en cuenta la curva de crecimiento a 30 años, o un 20 ó 30% de incremento de la población actual (m^3).

Altura: precipitación anual con una recurrencia de 1,25 años menos el 10 % por pérdidas por salpicaduras y en las conducciones (m).

El sistema de canaletas y bajadas conducen el agua de lluvia desde el techo hasta el depósito, previo paso por el sistema de filtrado. Es la parte más económica de la obra pero no siempre se dimensiona de manera tal de transportar toda el agua captada hasta el depósito, generalmente con un número insuficiente de bajadas, las cuales deben mantenerse limpias y en buenas condiciones (Anaya Garduño, 2011).

Las canaletas deben ser lo suficientemente grandes para que puedan conducir el agua captada en los techos, cualquiera sea la intensidad de la lluvia. Las más comunes son las de chapa galvanizada o de PVC con tratamiento contra los rayos ultravioleta.

Su dimensionamiento es recomendable que sea de 15 cm por 15 cm, no solo previniendo el caudal captado sino también obstrucciones parciales de hojas y/o sedimentos.

Se deben contemplar bajadas de diámetro 110 mm, previendo una por cada 30 a 40 metros cuadrados de superficie de captación, para minimizar pérdidas por rebalse ante lluvias intensas.

El encastre debe ser perfecto y tener suficientes ganchos de sujeción para que soporten el peso de las mismas con su máxima carga de agua, siendo recomendable que los ganchos se ubiquen cada 1,5 m de espaciamiento.

Es conveniente que las canaletas se instalen con un desnivel adecuado para que el agua escurra sin dificultad hacia las bajadas, con una pendiente de 0,005 (5 cm por cada 10 m de longitud). Siempre deben limpiarse antes y durante el período lluvioso, prestando la atención necesaria a las hojas y cualquier otro elemento que pueda saturar el sistema de canaletas, cañerías, prefiltrado y filtrado (Basán Nickisch y Tejerina Díaz, 2013).

El sistema de prefiltrado y cucharas permite retener restos vegetales (hojas, tallos) y demás sedimentos gruesos arrastrados desde el techo. Es esencial y necesario que toda el agua "cosechada" de los techos pase por un sistema de filtrado para almacenar siempre el agua libre de impurezas que dificulten su tratamiento posterior.

Existen diversas alternativas técnicas para operar estos sistemas. Unos consisten en un almacenamiento previo del agua sucia inicial de las lluvias para destinarse al riego de huertas y luego, cuando ya corre limpia, se deriva al depósito final destinado para el consumo humano (Figura 4). Para ello el tacho inicial debe tener un volumen de almacenamiento acorde a la superficie del techo y a los sedimentos del lugar.



Figura 4. Sistema de trampa inicial de tanque para almacenar el agua sucia para el riego de huerta o forestales

Otro consiste en un sistema de prefiltrado por cada caño de bajada del sistema de canaletas (Figura 5) y el mismo es simplemente la implementación de una bifurcación en esas cañerías con una malla plástica fijada con una abrazadera y tres remaches o tornillos pasantes, que impide el paso de residuos gruesos tales como material vegetal, insectos, entre otros. Es un mecanismo muy práctico en su instalación, en su funcionamiento y en su limpieza, ya que los sólidos retenidos se pueden retirar con la mano.

Ese sistema de filtrado se puede complementar con una cuchara que puede derivar el agua inicial con tierra y cerrarlo cuando el agua ya pasa limpia (Figura 5).



Figura 5. Sistema de prefiltrado y cuchara

No obstante, la operación del sistema de pre-filtrado y cuchara tiene 3 limitantes importantes:

- Hay que estar presente cuando se producen las precipitaciones.
- Se pierde volumen de agua que puede ser muy útil para satisfacer la demanda.
- El paso de agua con una carga de sedimentos importante si no es activada la cuchara.

Estas limitantes se acentúan en los Establecimientos Escolares en regiones con régimen monzónico de precipitaciones (verano en nuestro caso), que es cuando se encuentran en receso.

Cuando se considere necesario, debido a un trayecto largo de conducción de agua hasta el aljibe o cuando necesariamente se deban realizar conducciones no rectas, deberán implementarse *cámaras de inspección*, una por cada bajada planificada, que tengan tapas con buen cierre, con una altura suficiente que no permita el ingreso de agua superficial de escurrimiento, cualquiera sea su origen (Figura 1).

El sistema de filtrado consiste en un decantador y el filtro de arena, donde el agua pasa por los mismos, impidiendo el ingreso de tierra o de cualquier elemento que haya sorteado el sistema de prefiltrado (Figura 6).

El número y diámetro de las cañerías de PVC que colecta el agua filtrada debe ser igual o superior al de las cañerías de llegada que provienen del área de captación. Con esto se logra que el filtro no sea rebasada su capacidad de funcionamiento ante lluvias de alta intensidad.

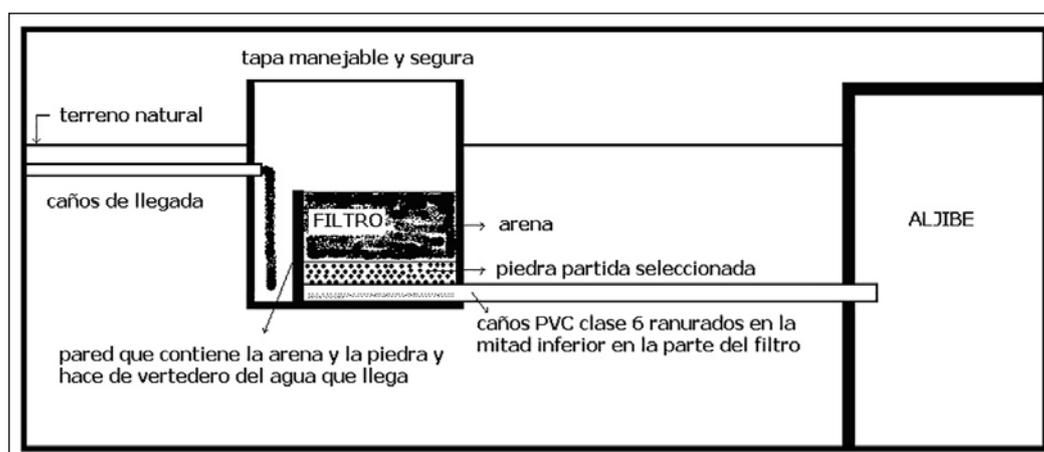


Figura 6. Filtro separado del aljibe

Las paredes del filtro se construyen con mampostería, cuyo espesor puede ser de 5 a 15 cm, construyéndose con ladrillos comunes de barro cocido de buena calidad, unidos con mortero de cemento portland normal y arena, con un revestimiento interior que contemple también material hidrófugo, para que sea estanco.

Las cañerías de llegada desembocan en el primer compartimento o decantador de sedimentos. Una pared nivelada a cero separa al mismo del sector de filtrado. El agua proveniente del techo inunda dicho decantador y termina rebasando la pared como un vertedero hacia el sector del filtro y termina en el aljibe.

El filtro de arena en su parte inferior (en contacto con la cañería de PVC agujereada o ranurada) se carga con piedra partida fina, en una capa con espesor de 30 cm. Posteriormente, se coloca una capa de arena gruesa Tipo 1-2 mm, con un espesor de 20 a 40 cm hasta alcanzar la pared del vertedero que une con el primer compartimento.

La superficie filtrante de arena gruesa debe ser proporcional a la de captación: por cada 100 m² de superficie de captación se recomienda disponer de 1 m² de superficie filtrante.-

El material filtrante es la arena, la cual es sostenida por la piedra partida, cuya función de esta última, es la de impedir el ingreso de la arena a la cañería de drenaje y, por ende, al depósito de agua.

El filtro debe poseer una tapa segura y práctica para inspeccionar su limpieza y funcionamiento. Antes de las primeras lluvias y durante el período lluvioso del verano debe corroborarse su estado (limpieza y la buena disposición del material filtrante).

Una variante a este diseño de prefiltrado, decantación y filtrado es la alternativa compacta que se ilustra en las Figuras 7 y 8.

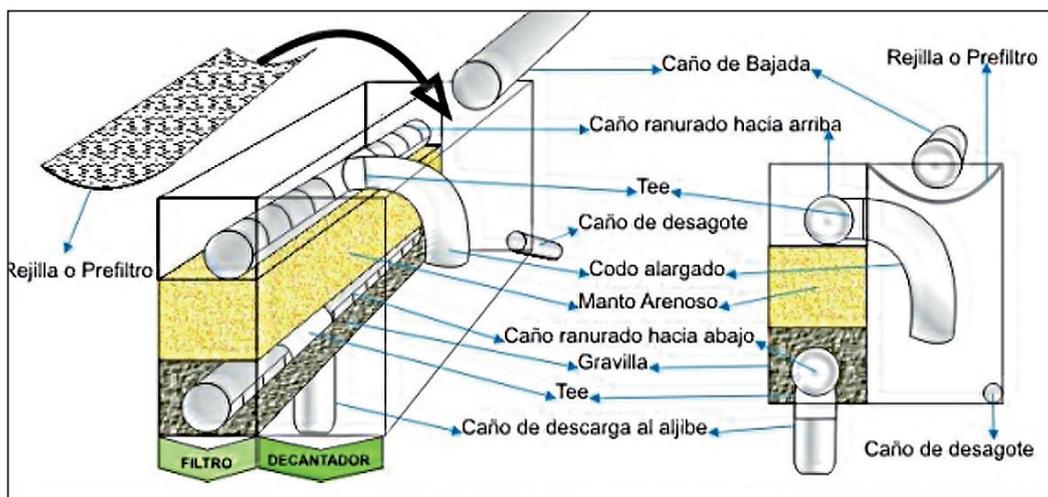


Figura 7. Sistema de filtrado compuesto por prefiltrado, decantador y filtro de arena (Basán Nickisch et al., 2014b)

Esta alternativa compacta de sistema de filtrado se puede implementar tanto para aljibes construidos de mampostería, ferrocemento, placas de cemento, y también para depósitos plásticos, debiendo construir una base soporte aparte para estos tres últimos.

El depósito de almacenamiento permite conservar el agua captada durante todo el año.

Se puede construir de diversos materiales (mampostería, ferrocemento, plástico, madera, metálico, placas de cemento), donde deben prevalecer las normas constructivas que garanticen su comportamiento ingenieril en lo que hace a soportar adecuadamente presiones externas e internas, y una adecuada estanqueidad en lo que se considere su vida útil, siendo deseable que la misma sea de 30 años como mínimo.

Es sustancial consultar a los usuarios acerca de los materiales, preferencias, costos, lugares de implementación por el acceso de materiales de construcción, costumbres, capacidad constructiva local por alguna de las alternativas, etc.

Los depósitos pueden estar enterrados, semienterrados o en superficie, donde su diseño deberá contemplar estas alternativas.

Otro punto a tener en cuenta es el máximo nivel freático durante los períodos hidrológicos húmedos

(excesos), tanto por la construcción como por la operación y mantenimiento posteriores.

Su entorno debe estar convenientemente higienizado y libre de animales domésticos, en lo posible con un cercado perimetral que impida el ingreso cercano de esos animales.

Debe tener cañería de rebalse con malla mosquitero para impedir el ingreso de roedores, sapos, víboras, etc., a una altura tal que no pueda entrar el agua por escorrentía superficial teniéndose en cuenta, además, la pérdida de capacidad de almacenamiento que ello implica.

Siempre es conveniente que tenga un acceso superior seguro (con candado) y práctico más una escalera interior para poder inspeccionar/limpiar el depósito.

Es deseable que tenga un diseño cilíndrico para uniformizar tanto las presiones externas del suelo como las internas del agua.

En la parte inferior, cuando los suelos no son estables, como el caso de los limosos y/o arcillosos o la presencia de hormigueros, siempre es conveniente compactar con un pisón y, de ser necesario, colocar una primera capa de hormigón económico, cuyo espesor variará en relación directa con la capacidad del depósito. A mayor capacidad, mayor espesor.

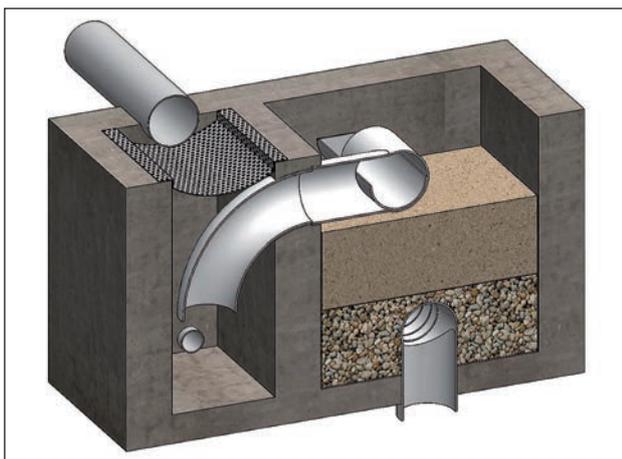


Figura 8. Vista de perfil del sistema compacto

Las paredes laterales en los aljibes de mampostería se construyen con un espesor de 15 cm para depósitos de hasta 20.000 l de capacidad, luego se recomienda paredes de 20 cm de espesor hasta 30.000 l, para luego tener paredes de 30 cm de espesor para depósitos de más de 30.000 l, dependiendo esto fundamentalmente de la profundidad de los reservorios.

Es importante elegir ladrillos cocidos de buena calidad, cemento portland normal con una resistencia de 400 kg/cm² (CPN 40), encadenados laterales cada 1,5 m de altura con hierro de 8 mm de diámetro, y un revoque de 1 cm de espesor con material hidrófugo.

En el caso de zonas sísmicas realizar una doble armadura, cara interna y externa, para que trabaje en los dos sentidos, y vincular la malla de la fundación con la armadura de las paredes (muy importante). La idea es que trabaje más como cuerpo rígido, y minimizar las fisuras por movimientos diferenciales.

Siempre es conveniente implementar mecanismos de bombeo estancos para extraer el agua almacenada. Una bomba centrífuga domiciliar si se dispone de corriente convencional (220 V) o una bomba manual para la extracción del agua almacenada (Figura 11). Las mismas pueden colocarse encima de la tapa superior del almacenamiento o al costado del mismo. Deben ser estancos para reducir el riesgo de contaminación del agua (Figuras 11 y 12a y 12b).

Hay que evitar la apertura de la boca del depósito, la introducción de tarros o baldes con sogas para poder extraer el agua, minimizando así también el peligro de accidentes de los niños.



Figura 9. Filtro ya cargado con sistema vertedor en la superficie de la arena



Figura 10. Filtro completo con tapas de protección para el filtro de arena

En el caso de presencia de freática cercana con concentración de sales se recomienda usar cemento puzolánico (resistente al ataque de sales, esencialmente sulfatos) y fundar la estructura sobre una capa de material granular para cortar el posible ascenso del agua freática por capilaridad.

Una vez estabilizado el piso la obra realmente comienza con una losa inferior de hormigón armado.



Figura 11. Mecanismo de bombeo manual para extraer y elevar agua con una bomba de hierro fundido



Figura 12a. Alternativa de bomba manual para aljibe construida con polipropileno. (Basán Nickisch y Sánchez, 2016)



Figura 12b. Desglose de una bomba a pistón que se puede construir con material de polipropileno

También es posible utilizar las energías renovables (eólica o solar) para bombear el agua del depósito, e incluso sobreelevarla a otros almacenamientos de las casas.

En el caso particular de depósitos implementados en superficie (Figuras 13 y 14) es práctico colocar un grifo para extraer el agua donde no hace falta el mecanismo de bombeo, siendo riesgoso también esto si alguien no tiene la precaución de cuidar que siempre se le dé un correcto uso y que no

pierda agua dicho grifo. En ambientes con niños se incrementa esta posibilidad de perder volúmenes de agua importantes.



Figura 13. Mujeres wichí del Lote 8 en Los Blancos, Salta, Argentina. Depósitos de plástico sobreelevados del terreno natural



Figura 14. Depósito sobre el terreno natural con sistema de captura de agua inicial sucia con mecanismo de prefiltrado y decantación en Haití (Basán Nickisch et al, 2016b)

El tratamiento microbiológico del agua almacenada es uno de los principales motivos de investigación en este tipo de sistemas.

Después que el agua pasó por el sistema de filtrado y se almacena limpia en el depósito, *todavía no es segura para el consumo humano*, ya que puede contener microorganismos patógenos que pongan en riesgo la salud de las personas por consumir agua sin un tratamiento adecuado.

Se consideró importante desde INTA realizar los análisis correspondientes con tres tratamientos diferentes de las consideradas tecnologías apropiadas (Figuras 15a, 15b y 15c) y a dos fuentes de agua de lluvia donde una de ellas posee sistema de filtrado, pero sin tratamiento bacteriológico (testigo 1) y otra sin filtrado y sin tratamiento bacteriológico (testigo 2):

Tratamiento 1: Dejar expuesta a la radiación solar una botella de plástico llena con agua de lluvia filtrada durante 1 día.

Tratamiento 2: Agregar una gota de hipoclorito de sodio comercial (lavandina) por cada litro de agua de lluvia filtrada.

Tratamiento 3: Hervir el agua de lluvia filtrada durante 3 a 5 minutos.

Testigo 1: agua filtrada sin ningún tratamiento microbiológico.

Testigo 2: agua sin filtrar y sin tratamiento microbiológico.

Cuando se presentan días nublados y se utilizan la radiación solar como desinfectante (comúnmente llamado SODIS) se recomienda dejar las botellas de agua expuestas por 2 días, simplemente por precaución antes de su consumo.

Según estudios realizados por el INTA EEA Santiago del Estero (Basán Nickisch, 2011) se necesita una gota de lavandina por cada 2 litros de agua almacenados en un aljibe, estando el agua clarificada. Con ello se logra cloro residual de al menos 0,2 mg/L como Cl_2 y una desinfección de bacterias y virus patógenos, controlando el pH y la temperatura, con análisis microbiológicos periódicos para garantizar agua segura para el consumo. En esos estudios se comprobó también que la oscuridad y la temperatura que se genera en el interior de un aljibe contribuyen a preservar la capacidad de desinfección de este elemento, donde el cloro residual se mantuvo en el agua almacenada entre 30 y 45 días.

No se debe dosificar lavandina en exceso pues no es bueno para la salud. Después de aplicar la misma se debe esperar media hora para que se encuentre en condiciones de ser consumida. Es el único método que tiene un efecto residual de manera tal que después de lograda la desinfección sigue teniendo capacidad desinfectante ante una nueva contaminación.



Figura 15a. Desinfección de agua de lluvia con radiación solar (SODIS)

El hervido del agua es un tratamiento eficiente y solamente puede tener una limitante importante en algunos ambientes donde el combustible necesario no esté al alcance de la población (gas, leña, etc.). Luego de hervida el agua se deja enfriar y se deposita en un recipiente limpio hasta su consumo.



Figura 15b. Tratamiento con dosificación de lavandina

En el caso del tratamiento SODIS hay que utilizar botellas plásticas de calidad, en buen estado (no rayadas = opacas) y deben ser transparentes (sin color), debiendo descartarse aquellas comunes que puedan desprender elementos tóxicos.

Si se dosifica con lavandina debe ser con la tradicional, sin aditamentos de ningún tipo.



Figura 15c. Tratamiento con hervido del agua

3. RESULTADOS

Los tratamientos bacteriológicos 1 (agua filtrada del aljibe con tratamiento SODIS), 2 (agua filtrada del aljibe con lavandina) y 3 (agua del aljibe filtrada y hervida) mostraron ausencia de coliformes fecales, coliformes CEK y *Pseudomonas aeruginosa*, según se aprecia en la Tabla 1.

Las muestras 1, 2 y 3 arrojaron valores menores a los umbrales propuestos por el Código Alimentario Argentino de las bacterias aerobias totales y coliformes totales (<500 y <3 respectivamente).

En cuanto a los testigos, los resultados obtenidos para las muestras 4 y 5 indicaron la presencia de coliformes fecales y coliformes CEK, con valores

mayores a los recomendados de bacterias coliformes totales.

En el caso particular del agua cosechada y almacenada en el aljibe sin filtrar y sin tratamiento bacteriológico (5, presenta gran cantidad de bacterias aerobias totales, lo que se debe a que el agua se almacena sin el cierre superior. No sucede eso en aljibe con tapa (4).

Tabla 1. Resultados obtenidos de los diferentes tratamientos microbiológicos.
(Basán Nickisch et al., 2014b)

Tipo microbiológico	Máximos	Muestras				
		1	2	3	4	5
Bacterias Aerobias Totales	< 500	70	<1	<1	200	4500
Bacterias Coliformes Totales	<3	<3	<3	<3	33	10
Bacterias Coliformes Fecales	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	16	5
Bacterias Coliformes CEK	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	17	5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

4. CONCLUSIONES

Se considera que el sistema compacto de prefiltrado, decantación, filtración y desinfección es el único que garantiza almacenar agua limpia en los depósitos.

Almacenar agua limpia no significa agua segura pero es un paso indispensable para que el agua no sea rechazada por su turbiedad y, especialmente, porque favorece su desinfección.

Los resultados de los tratamientos microbiológicos en base al agua tratada con el filtrado propuesto, convalidan la eficacia y efectividad de los mismos para garantizar agua segura para el consumo humano.

La desinfección con hipoclorito de sodio (lavandina), el hervido del agua y el tratamiento con radiación solar han dado un resultado excelente para contrarrestar agentes patógenos.

Los testigos 1 y 2 no garantizan agua segura para la población y convalidan la necesidad de realizar el filtrado del agua proveniente de las áreas de captación más el tratamiento microbiológico correspondiente para poder clasificar el agua segura para el consumo humano.

Los almacenamientos o depósitos deben estar cerrados, cualquiera sea el material de los mismos, y los mecanismos de bombeo ser estancos.

Es indispensable la capacitación de las personas que van a operar estos sistemas, sean comunitarios o familiares, para que las mismas internalicen qué se deben realizar estos tratamientos.

La operación y mantenimiento de los sistemas de captación de agua de lluvia es clave para garantizar la calidad del agua apta para el consumo humano en cualquier época del año, donde la limpieza y control

de cada una de las partes antes de las lluvias y durante el período lluvioso es esencial.

Esto permite asegurar que con tecnologías simples y validadas, se puede dar respuesta a la demanda de agua en ámbitos rurales y urbanos, constituyéndose esto en una herramienta importante para asegurar que el hecho de contar con agua en cantidad y calidad durante el año permite afirmar que no implica un motivo para la migración rural la falta de agua segura para propósitos múltiples.

El INTA actualmente investiga métodos con tecnologías apropiadas para que cualquier persona pueda implementar en su casa, de manera tal de garantizar en zonas con alta concentración agrícola no ingresen elementos indeseados a los aljibes.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya Garduño, M. (1998) Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico. América Latina y el Caribe, IICA, México.
- Anaya Garduño, M. 2011. Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Basán Nickisch, M. 2011. Abastecimiento con agua de lluvia para consumo humano en ambientes rurales. INTA
- Basán Nickisch, M. 2012a. Manejo de los Recursos Hídricos para áreas de secano – 2da. Edición. INTA
- Basán Nickisch, M. H. 2012c. Calidad del agua para usos múltiples. 1er Seminario Latinoamericano sobre acceso, uso y tratamiento del agua para la Agricultura Familiar – Agua de calidad con equidad. INTA.

Basán Nickisch, M. 2016. Sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia (SCALL) para la EEA Ingeniero Juárez. INTA.

Basán Nickisch, M. y Tejerina Díaz, F. 2013. Nuevo sistema de filtrado de agua para aljibes. INTA.

Basán Nickisch, M.; Tejerina Díaz, F.; Jordan, P.; Tosolini, R.; Sánchez, L.; Sanz, P.; Vera, H. 2014a. Mantenimiento y Tratamiento del Agua en Aljibes. INTA.

Basán Nickisch, M.; Tejerina Díaz, F.; Jordan, P. 2014b. Tratamientos del agua de lluvia validados para consumo humano. INTA.

Basán Nickisch, M. y Sánchez L. 2016 Agua Segura para Comunidades Quom en el norte del Chaco. INTA.

Basán Nickisch, M.; Sánchez, L.; Tosolini, R.; Tejerina Díaz, F.; Jordan, P. 2016b. Aprovechamiento del agua de lluvia para usos múltiples en los Bajos Submeridionales y áreas de influencia. INTA.