

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTUDIO TÉCNICO SANITARIO DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL  
PERÚ**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORAS:**

Milagros Amanda Calderon Huayhualla  
Yitzhak Julianne Campos Conde  
Brooke Cristel Quispe Piñas

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS  
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Diego Paul Lazo Pérez  
Bruno Gonzalo Socualaya Molina

**ASESOR:**

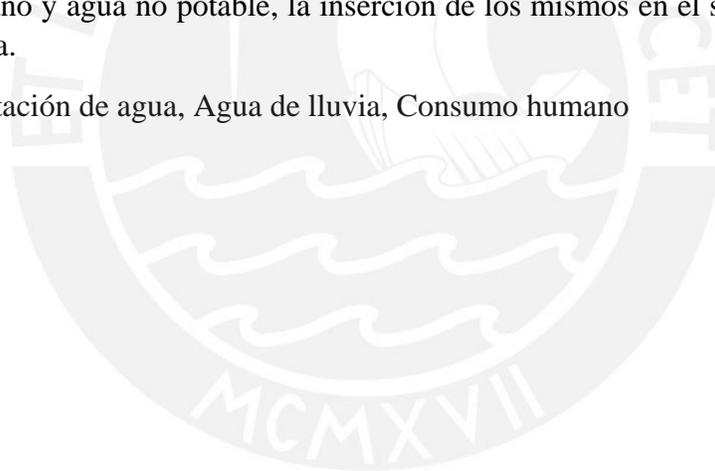
Luis Enrique Torres Mendoza

**Lima, Diciembre, 2020**

## RESUMEN

La situación actual de acceso al agua en nuestro país y en la región, motiva a contribuir en la investigación de alternativas de captación de agua y tratamiento de la misma para uso de la población, en especial del grupo humano que no tiene acceso al recurso que, según organismos mundiales, es un derecho de la humanidad. La presente investigación realiza una revisión bibliográfica general cuyo objetivo es conocer la situación actual del Perú en este tema y de algunos países de la región, de los cuales se conoce que tienen características cercanas a la del Perú. Además, se realiza una revisión bibliográfica de tres métodos de captación, escogidos debido a la gran difusión de los mismos en diferentes países. Estos son la captación de agua de niebla (Atrapanieblas), captación de agua de lluvia y captación de agua de mar. Con los conocimientos adquiridos en la revisión bibliográfica se escogió el agua de lluvia como método a ser detallado debido a considerar a este como uno de los métodos más idóneos para abastecer de agua diferentes zonas del Perú. En la etapa de desarrollo del proyecto se detallan las partes del sistema que componen la captación y tratamiento de agua de lluvia, y se presentan un conjunto de tablas, fórmulas y algunos conceptos que auxilian en la etapa de diseño de las partes del sistema. También se desarrollan los procesos de tratamiento de agua, donde se detallan métodos de filtración de agua para consumo humano y agua no potable, la inserción de los mismos en el sistema y los posibles usos del agua tratada.

Palabras clave: Captación de agua, Agua de lluvia, Consumo humano



## ÍNDICE:

1. Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación .....	1
1.3. Alcance .....	1
1.4. Objetivos.....	1
1.5. Metodología.....	2
2. Revisión de Literatura.....	3
2.1. Medios de captación de agua potable en el Perú .....	3
2.2. Métodos de captación de agua de Chile, Colombia y Argentina.....	4
2.3. Agua de lluvia para abastecimiento del consumo humano.....	6
2.4. Uso de Atrapanieblas para abastecimiento del consumo humano.....	7
2.5. Desalinización como alternativa para generar agua para consumo humano .....	9
2.6. Aspectos técnicos y económicos de la utilización de Agua de lluvia .....	10
3. Desarrollo de la Investigación .....	11
3.1. Sistema de Captación de Agua de Lluvia.....	11
3.2. Diseño del Tanque de Almacenamiento de Agua de Lluvia .....	15
3.3. Filtros de Agua .....	21
4. Conclusiones y recomendaciones .....	26
5. Referencias.....	28

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 3.1.1 Ángulo de inclinación de caída de la lluvia .....	12
Ilustración 3.1.2 Cálculo de área de captación, Norma brasileña NBR 10844/1989 .....	12
Ilustración 3.1.3 Secciones de canaletas (PCC, 2018) .....	13
Ilustración 3.1.4 Diagrama para cálculo de diámetro de conductos verticales (CSTC, 1975).....	14
Ilustración 3.2.1 Diagrama de Precipitación de Iquitos (Fuente: Climate Data ORG).....	16
Ilustración 3.2.2 Diagrama de Precipitación de Oxapampa (Fuente: Climate Data ORG).....	20
Ilustración 3.3.1 Filtros por rayos de luz UV .....	22
Ilustración 3.3.2 Filtros de osmósis inversa .....	23
Ilustración 3.3.3 Filtros de cerámica .....	24
Ilustración 3.3.4 Filtros de carbón activado .....	25

## ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 3.2.1 Datos de Precipitación mensual de Iquitos .....	16
Tabla 3.2.2 Coeficientes de Escorrentía.....	17
Tabla 3.2.3 Demanda mensual en milímetros .....	18
Tabla 3.2.4 Volumen de almacenamiento mensual en milímetros .....	18
Tabla 3.2.5 Balance hídrico del agua de lluvia en milímetros.....	19
Tabla 3.2.6 Datos de Precipitación mensual de Oxapampa .....	20
Tabla 3.3.1 Diferencia de Área de captación y Volumen del Tanque de almacenamiento de viviendas ubicadas en Iquitos y Oxapampa. ....	26

# 1. Generalidades

## 1.1. Introducción

El agua potable es un derecho humano; sin embargo, en el Perú actualmente no se garantiza el abastecimiento de agua potable a toda la población, por tal motivo son necesarios trabajos de investigación que encuentren soluciones factibles que mejoren la calidad de vida de las personas. El presente trabajo aborda los aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano aplicado a la realidad del Perú. Para tal fin se realizó la investigación de alternativas de producción de agua potable en los países de la región incluyendo el Perú, la comparación de los métodos de potabilización usados en los diferentes países y la elección de la mejor opción que pueda adecuarse a la realidad del Perú.

## 1.2. Justificación

El Perú es uno de los países con mayor cantidad de fuentes hídricas en el mundo; sin embargo, no cuenta con una adecuada distribución. Es por eso que el precio del agua (de consumo humano) es elevado en algunas zonas. Sumado a eso, existe una gran desigualdad económica en el país, lo que hace que se incremente aún más el precio de fuente indispensable. Por estas razones, se buscan alternativas económicas que disminuyan o mitiguen la necesidad de adquisición del agua a un alto costo.

## 1.3. Alcance

En la presente investigación se busca estudiar la realidad en la que se encuentra el país respecto a la captación y distribución de agua potable. Asimismo, se estudiarán los métodos de producción de agua en otros países y se evaluará su aplicación en el Perú.

Se busca proponer y desarrollar una alternativa de producción de agua a la que todos puedan tener acceso, teniendo en cuenta la alta diferencia que tienen los ciudadanos al acceso de agua alrededor de todo el Perú.

## 1.4. Objetivos

### *OBJETIVOS GENERALES:*

- Estudiar la situación actual de agua potable en el Perú y tres países de la región: Chile, Colombia y Argentina
- Analizar las alternativas no convencionales de producción de agua potable en el Perú
- Desarrollar los aspectos importantes de la alternativa más factible.

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- Describir los medios de captación de agua potable en el Perú
- Destacar los métodos de captación de agua de Chile, Colombia y Argentina
- Analizar la factibilidad del uso de Agua de lluvia para abastecimiento del consumo humano en Perú.
- Analizar la factibilidad del uso de Atrapanieblas para abastecimiento del consumo humano en Perú.
- Analizar la factibilidad del uso de Desalinización para abastecimiento del consumo humano en Perú.
- Desarrollar los aspectos técnicos y económicos de la alternativa más factible que puede ser aplicada en Perú.

### 1.5. Metodología

#### **Revisión bibliográfica**

Revisión bibliográfica inicial que permita situar la situación actual del Perú respecto a captación de agua y tratamiento del mismo, y además comparar con la situación de países de la región, los cuales tienen características similares al Perú, para el presente trabajo se escogieron tres países: Chile, Colombia y Argentina.

Revisión bibliográfica de tres métodos de captación de agua para posterior tratamiento: Atrapanieblas, agua de lluvia y desalinización

#### **Metodología Cualitativa**

Consiste en la descripción de un sistema de captación de agua de lluvia. En esta parte se presentan los elementos y herramientas tales como la norma de Instalaciones Sanitarias, ISO10 y la Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia de la Organización Panamericana de Salud.

Revisión y descripción de los métodos de tratamiento de agua que se dividen en filtros para consumo humano y filtros para agua no potable.

#### **Metodología Cuantitativa**

Consiste en el cálculo del volumen de almacenamiento del tanque que albergará el agua de lluvia. Para el diseño de este se utilizan fórmulas y tablas concernientes al balance hídrico.

#### **Metodología Experimental**

En el presente trabajo no se realizará un proyecto experimental.

## 2. Revisión de Literatura

### 2.1. Medios de captación de agua potable en el Perú

El Perú se caracteriza por concentrar a la mayor parte de su población en la ciudad de Lima, la cual representa el 29.7% de la población total (INEI, 2020). Así también, la ciudad de Lima tiene el mayor consumo de agua potable en todo el Perú. Para su abastecimiento utiliza el agua proveniente de la cuenca de 3 ríos: Rímac, Chillón y Lurín; y para su extracción toma un 83% de fuentes superficiales y 17% de fuentes subterráneas.

El agua superficial mayormente captada proviene del río Rímac, siendo el 69% del total. Esta agua proveniente pasa por un proceso de tratamiento con el fin que sea apto para el consumo humano. El proceso comienza cuando el agua pasa por unas rejillas que retienen material sólido de tamaño considerable. Luego el agua pasa por los desarenadores, los cuales separan la arena del agua. A lo largo de este tramo se añade cloro, este procedimiento se llama precloración. Luego el agua pasa por tanques reguladores que lo almacenan para posteriormente recibir una dosis de un coagulante químico. Después, el agua pasa por decantación para luego recibir una dosis de cloro (cloración). Finalmente, el agua es almacenada en un reservorio para su distribución por la red pública.

Por otro lado, las zonas rurales del Perú se abastecen, también, de aguas superficiales y aguas subterráneas. Entre las fuentes de aguas superficiales se encuentran la toma de agua de los manantiales, de la lluvia y de la niebla. Dentro de las fuentes de aguas subterráneas se encuentran los pozos.

El 47.8% de las personas que viven en las áreas rurales se abastecen de agua de los manantiales, acequias o similares y el 8.5% de agua se abastecen de agua de pozos (INEI, 2011).

El agua captada de los manantiales también es usada para el consumo humano y esta puede ser captada directamente del manantial o de una quebrada que se encuentra a una menor altura. Se busca que las obras de captación se realicen por encima de los lugares a abastecer, pues de esta manera se logra que el agua discurra por gravedad y se evite el uso de bombas. Si el agua es captada del manantial en lugar de la quebrada, esta estará menos expuesta a contaminantes; sin embargo, el costo de los materiales, operación y mantenimiento pueden ser mayores debido a la mayor altura.

Otro tipo de captación de agua es mediante pozos, que dependen de características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero. El agua subterránea tiene una buena calidad sanitaria, pues no contiene materiales en suspensión y están prácticamente libres de bacterias. A diferencia del agua superficial, esta es clara y sin olor, ya que se filtra naturalmente. Dadas las características antes mencionadas, el agua subterránea no necesita un tratamiento especial salvo una cloración antes de consumirla. Entre las ventajas del agua subterráneas se encuentra la baja inversión económica para su captación y tratamiento, y la eficacia en la instalación en zonas donde no llega la red pública.

## 2.2. Métodos de captación de agua de Chile, Colombia y Argentina

### **Chile:**

En relación al contexto actual de tipos de captación de agua para posterior potabilización en el país de Chile se encontró una infografía correspondiente al año 2019 en la que se relatan los siguientes porcentajes de fuentes de captación: 1% proveniente de fuente marina, 47% proveniente de aguas superficiales y el 52% proveniente de aguas subterráneas. En el mismo material se presenta como paso siguiente el proceso de potabilización usual que comprende el paso por el desarenador, proceso de coagulación y floculación, proceso de filtración, decantación, cloración y almacenamiento para finalmente distribuir a la población. Los principales ríos de captación son el río Maipo y Mapocho. Para continuidad del consumo cuentan con tres reservas en el centro del territorio chileno: Embalse El Yeso, que tiene como capacidad 220 millones m<sup>3</sup>; Laguna Negro, que tiene como capacidad 648 millones de m<sup>3</sup>; y Lo Encañado, que tiene como capacidad 50 millones m<sup>3</sup> (Istúriz, 2019).

Por otro lado, se encontraron otros procesos de captación alternativos en Chile. Uno de ellos es la captación de agua de nieblas, método conocido como Atrapanieblas, Chile fue el primer lugar donde se usó este método, específicamente en el norte de Chile. La importancia de esta captación reside en la dificultad de captación de otro tipo de fuentes en lugares como el desierto de Atacama; sin embargo, en algunos de estos lugares se presenta gran cantidad de niebla que puede ser aprovechado para abastecer a hogares en zonas alejadas (Silva, 2015). Un ejemplo de aplicación se da en Alto Patache, población que está ubicada a 700 metros de altura en la región de Tarapacá. Cada red de atrapaniebla puede abastecer a una casa, en el ejemplo encontrado se tiene el dato de 100 casas abastecidas. Entre las mayores dificultades encontradas reside la falta de difusión del atrapanieblas y la necesidad de participación activa de la población para realizar las mantenciones correspondientes una vez que ya cuenten con tal sistema. La experiencia de Chile ha sido compartida a otros países, como el Perú, mediante el apoyo de organismos que reúnen especialistas en el tema para mejorar este método de captación y aplicarlo en diferentes partes del mundo. En cuanto al uso del agua captada, en Chile también se estudió posibles métodos no muy complejos que podrían facilitar la recolección de agua, filtro y posterior purificación para que pueda ser apta al consumo humano (Villaruel, 2009).

También se encontró en Chile estudios y aplicaciones de captación de agua de lluvia, entre los materiales encontrados sobre este aspecto destaca el manual de diseño del sistema de captación de aguas de lluvia con aplicación en zonas rurales que fue publicado en el 2015, se justifica el uso exclusivo en zonas rurales y algunas zonas periféricas de las ciudades basado en otros estudios, uno de ellos realizado en el Perú. En el mismo material se menciona un criterio de suficiencia de agua de una persona por día con fuente en las publicaciones de la OMS, el cual es un factor predominante para análisis de los lugares en los que es factible la aplicación de este tipo de captación, además se resalta el estudio de factores hidrológicos (UNESCO, 2015)

### **Colombia:**

En cuanto al estado del suministro de agua potable en Colombia se encontró un artículo técnico elaborado por Peña, Melgarejo y Prats que se centra en la ciudad de Bogotá, el abastecimiento en tal ciudad es del 100% de los pobladores, las principales fuentes de suministros son ríos, quebradas

y embalses. También se menciona como dato importante que cada vez se incrementa la intervención de nuevas cuencas periféricas y también más distantes a la ciudad de Bogotá. El uso de agua subterránea en la misma ciudad es bajo en comparación al uso de aguas superficiales y se presentan actividades en las que se usan mayormente este tipo de captación: 55% en actividades industriales, 3% actividades agrícolas, 2% sectores residenciales y 1% en otros sectores (Peña, Melgarejo y Prats, 2016)

En Colombia se encontró en un artículo un estudio detallado de implementación de agua de lluvia en viviendas para este fin se detallan tres componentes del sistema: área de captación, tanque de almacenamiento y área de aprovechamiento. En este mismo artículo se resalta la importancia de implementación en zonas rurales por razones económicas, como ejemplo de aplicación se muestra la ciudad de Leticia, localizada en la Amazonía de Colombia (Rubio, 2014).

También se encontró artículos relacionados a la captación de nieblas, uno de ellos denominado Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia, publicado el 2018, relata el análisis como posible alternativa ante la escasez de agua en la localidad de Choachí, Colombia, mediante un proyecto piloto de atrapaniebla. Los resultados muestran que sería posible la aplicación de dicho método de captación en poblaciones de características similares a la del estudio, en cuanto a uso del agua también se encontró que no se necesitan tratamientos complejos; sin embargo, en ese punto se resalta la necesidad de mayor investigación (Baquero, 2018).

### **Argentina**

Se obtuvo información de Aysa, la encargada de proveer agua a la ciudad de Buenos Aires, en la cual se detalla que la captación es en mayor porcentaje de fuente superficial, al igual que los casos de Chile y Colombia, para lo cual se hace uso de torres de toma para posterior proceso de potabilización; por otro lado, el agua subterránea representa el 13% del total producida y se presentan tres tipos de plantas de tratamiento de aguas subterráneas: Ósmosis inversa, intercambio iónico y absorción.

Por otro lado, también se encontró como una fuente de captación alternativa el agua de lluvia como una alternativa para zonas rurales aisladas en donde el acceso a aguas subterráneas requeriría de altas inversiones, como es el caso de la región chaqueña argentina. Plantea que si bien es cierto el sistema es ampliamente usado en algunas zonas, muchas veces no tiene un adecuado dimensionamiento de los elementos lo cual genera problemas en el aprovechamiento adecuado del agua de lluvia, por tal motivo, se resalta la importancia de mayor investigación y difusión de la misma. También se propone este tipo de agua como apta para consumo humano, así como para uso en diferentes otras actividades (Belelli y Vazquez, 2018). Un ejemplo de aplicación se encuentra en las zonas rurales de los departamentos de Avellaneda, San Martín y Sarmienta, las cuales son parte de un proyecto impulsado por la compañía Coca Cola con el objetivo de aliviar el uso del agua de cuencas cercanas y mejorar la calidad de vida de la población.

### 2.3. Agua de lluvia para abastecimiento del consumo humano

La captación de agua de lluvia se define como la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para aprovechar esa agua para consumo humano, agrícola y ganadero.

Los sistemas de captación de agua de lluvia son una tecnología mediante la cual se habilitan cubiertas y áreas impermeables de las construcciones con el fin de captar el agua de lluvia, para posteriormente conducirla a lugares en donde pueda almacenarse (depósitos, cisternas) y finalmente darle un uso humano, agrícola y agropecuario. (Herrera, 2010).

La implantación del agua de lluvia puede ser en lugares donde no existe una red de abastecimiento o el suministro no llega a cubrir toda la demanda, baja disponibilidad de agua y agua de mala calidad.

Los sistemas de captación del agua de lluvia deben tener los siguientes elementos: 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 y tratamiento microbiológico. Siendo las superficies de captación (techos) los elementos más importantes, teniendo una inclinación adecuada y siendo de un material impermeable, liso y uniforme para que el agua de lluvia desperdiciada sea la mínima y pueda facilitar la captación del agua. Luego el agua es conducida por canaletas y tuberías después son llevados a los depósitos de almacenamiento.

Por otro lado, la calidad del agua se debe a la exposición que está el agua durante la recolección, tratamiento y almacenamiento. El agua de lluvia no necesariamente es considerada como no contaminada, puesto que puede contener algunos elementos peligrosos para el ser humano. Por lo cual, al agua recolectada se hace un tratamiento microbiológico para que sea de consumo humano para las personas.

Al considerar la factibilidad del sistema se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- El factor técnico, el cual comprende el agua pluvial anual de la zona donde se evaluará, en el caso de Perú la presencia de lluvias es más constante en las zonas medias y altas del territorio peruano. También se debe evaluar la demanda del agua que se necesitara para el consumo humano y este dependerá de la cantidad de personas que viven en la casa donde se plantea hacer el sistema de captación de agua de lluvia.
- El factor económico, está determinado por la inversión inicial requerida para implementar el sistema. En el cálculo financiero se recomienda comparar los costos con otras alternativas destinadas al mejoramiento de abastecimiento del agua y tener en cuenta el impacto positivo que genera la disponibilidad de agua en la comunidad (Delgadillo,2015). En el caso de Perú, se plantea el consumo de agua de lluvia para las zonas donde no llega la red de abastecimiento de agua o en lugares donde no cubre toda la demanda necesaria.
- El factor social, se debe tener en cuenta los hábitos y costumbres de las personas que usaran ese tipo de agua para así evaluar si el sistema planteado sería adecuado para esas personas.

Las limitaciones que tiene los sistemas de captación de agua de lluvia es que depende directamente de las precipitaciones de la zona donde se implementara este sistema y el alto costo inicial lo cual limita la implantación para las familias de bajos recursos sin una ayuda del estado o una entidad privada.

El Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo (CIDECALLI-CP) ha diseñado y construido 5 diferentes modelos de sistemas de captación de agua de lluvia basados el tipo de necesidad que se le dará al agua. En el caso de consumo humano se basó en la dotación del consumo de agua, área de captación, la precipitación pluvial, el depósito de almacenamiento y el costo de este sistema al implementar.

#### 2.4. Uso de Atrapanieblas para abastecimiento del consumo humano

La niebla o neblina es una masa de aire compuesta por partículas de agua muy minúsculas (1 a 40 micrones). Dado su tamaño, no son lo suficientemente grandes como para que la gravedad las haga precipitar, por lo que se quedan suspendidas.

La neblina se encuentra en distintas zonas geográficas como cordones montañosos, que tiene altitud suficiente para interceptar la nube y producir niebla. Asimismo, se puede encontrar en las pendientes de los cordones montañosos, pues las pendientes definen la trayectoria del viento, lo que su vez influye en la llegada de la nubosidad a las montañas. Por otro lado, también es posible captar agua de nieblas en las lomas de la costa peruana, como lo son las Lomas de Lachay y Atiquipa.

La neblina se logra captar mediante mallas colocadas en forma vertical, las gotas se depositan en la trama de la tela y poco a poco aumentan de tamaño. Como consecuencia, son atraídas por la gravedad y se depositan en pequeñas cantidades de agua. Todo lo anterior mencionado es posible con los llamados “Atrapanieblas”.

De esta manera, un Atrapaniebla es un dispositivo empleado para captar el contenido líquido de la niebla mediante una malla de nylon, propileno o polietileno. Un conjunto de Atrapanieblas forma un Sistema de Captación de Agua de Niebla (SCAN) que conduce el agua recolectada a los estanques de almacenamiento y posteriormente es conducido a los lugares de consumo. El almacenamiento del agua obtenida es fundamental, pues la niebla es intermitente y los periodos de niebla pueden no coincidir con las necesidades de consumo. Un Atrapaniebla consta de una malla que atrapa las gotas de agua, una estructura de soporte y una canaleta en la parte inferior de la malla, por la cual el agua escurre por gravedad.

Las mallas del Atrapaniebla deben estar hechas de un material con buen comportamiento aerodinámico, resistente a la intemperie y a la radiación solar. El material más usado en la actualidad es la malla Raschel, fabricada con cintas de polietileno de 2mm de diámetro aproximadamente. El material de la malla tiene gran importancia en el costo de instalación, el tiempo de vida del Atrapanieblas y en la eficiencia para recolectar gotas de agua.

Por otro lado, la estructura de soporte debe ser capaz de resistir el peso de la malla saturada de agua, las cargas eventuales producidas por personas al momento del mantenimiento o montaje y, sobre todo, las fuerzas ejercidas por el viento, que son aplicadas perpendicularmente a la malla. Para soportar estas fuerzas del viento, el soporte puede ser de dos tipos; rígido o flexible.

De acuerdo al uso del agua de nieblas para cultivos, se toma como referencia al proyecto de Atrapanieblas en la región de Coquimbo, Chile. En dicho lugar, se realizó una comparación entre la cantidad de agua recolectada mediante los Atrapanieblas y el agua captada en la estación meteorológica “La Serena”, todo esto en distintos años. Los resultados reflejaron que a lo largo de los años 1988 a 1995, el agua recolectada por niebla fue más constante, presentando una desviación estándar del 36%. Por otro lado, la precipitación media anual presentó grandes diferencias y una mayor desviación estándar, 81%. Por lo tanto, el agua de niebla presenta una variabilidad anual menor que el agua procedente de lluvias, lo que permite planificar más adecuadamente los cultivos a desarrollar en una zona específica; es decir, introducir cultivos que requieran agua de manera estable durante diferentes periodos.

El uso de agua proveniente de Atrapanieblas para el consumo humano se realiza teniendo como referencia el estudio realizado en Alto Patache en Chile. En este, los resultados del agua recolectada por los Atrapanieblas mostraron un valor de acidez fuera de lo permitido por la Norma Chilena (NCH 1333). El vapor de agua en la atmósfera tiene un Ph de 5.6 (causado por el equilibrio de CO<sub>2</sub> atmosférico); sin embargo, el Ph de la niebla es menor, esto es por las emisiones de aerosoles y otros elementos. Pese a que el valor del Ph no es el adecuado, no afecta directamente a la salud humana pues incluso hay productos cítricos con menores valores de Ph. Sin embargo, si afectaría la alteración química de compuestos en el agua y una posterior consecuencia en la facilidad de corrosión de las tuberías metálicas que trasladan el agua. Una solución para mitigar este valor de acidez es incorporar compuestos alcalinos o filtros del mismo tipo como lo es el Carbonato de Calcio. Por otro lado, para que esta agua captada sea apta para el consumo humano, se tiene que tener muy en consideración la malla, pues esta puede atrapar distintos elementos no deseados que puedan superar lo permitido por las normas de salubridad. Esto se puede mitigar utilizando filtros para retener partículas y así cumplir con lo exigido por las normas.

De esta manera y bajo la explicación antes mencionada, la utilización directa de agua para consumo humano, captado mediante Atrapanieblas, es complicado, ya que puede no cumplir con las medidas de higiene y salubridad que se exigen en las normas. Sin embargo, si sería muy provechoso utilizar esta agua en distintas industrias de acuerdo al lugar donde se ubiquen los Atrapanieblas; por ejemplo, sector agropecuario, industrial, minero, forestal, entre otros.

## 2.5. Desalinización como alternativa para generar agua para consumo humano

De acuerdo al tipo de agua en la Tierra, solamente el 2.5% es el agua dulce, de esto, el 68.7% corresponde a glaciares, los cuales no se pueden usar por considerarse parte fundamental de los ecosistemas de la hidrosfera. De la cantidad de agua dulce utilizable, la mayor parte se utiliza en la agricultura y la industria, siendo solo el 10% el uso doméstico que se le da (Lechuga, 2007). Una alternativa para combatir el déficit de agua es la desalinización.

La desalinización consiste en un proceso de separación de sales disueltas en aguas salobres o de mar. Esto para convertir el agua salada en agua adecuada para el consumo humano, industrial o agrícola (Medina, 2000).

Existen diversas tecnologías para desalinizar el agua de mar y se dividen en dos ramas, las que utilizan combustibles fósiles, como los sistemas térmicos, y los que utilizan membranas y altas presiones. Un sistema térmico necesita de energía y calor para convertir el agua líquida salada en vapor. Luego el vapor se condensa, logrando que se forme agua dulce. El resto de agua que queda es la salmuera. Las tecnologías en un sistema térmico puede ser la Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC), Destilación flash multietapa (MSF), Destilación multiefecto (MED) y Destilación Solar. Por otro lado, un sistema por membranas es un proceso que separa el agua salina en dos vertientes, una corriente de agua potable con baja concentración de sales y otra corriente de salmuera. Las tecnologías de este tipo son la Osmosis Inversa y la Electrodiálisis.

Entre todos los métodos antes mencionados, la desalinización por Osmosis Inversa es la más extendida, sencilla y más avanzada en el mundo. Su implantación es más del 60% respecto a los demás métodos. El proceso de osmosis inversa consiste en aplicar una presión sobre el agua salda, haciéndola pasar por una membrana semipermeable que permite el paso del agua sola (solvente), pero no de la sal (solute). Las soluciones se desplazan de zonas menos concentradas hacia las zonas con mayor concentración de sales. La salinidad del agua tiene una presión, que es llamada presión osmótica. Esta es vencida por una presión externa y, como consecuencia, se logra la separación del agua de las sales.

Si bien la desalinización del agua produce agua potable apta para el consumo humano, este método es caro por la gran energía que requiere. En la actualidad, la desalinización se usa especialmente en países más acaudalados que poseen reservas de combustibles fósiles, tales como Arabia Saudita. Para hacer más costoso, se investiga maneras de mejorar los procesos de desalinización, utilizando membranas más eficaces y durables para producir más agua por unidad de energía.

Por otro lado, la desalinización trae consecuencias en el medioambiente. La cantidad de gases liberados producto de la alta energía empleada genera un impacto medioambiental negativo. La eliminación de la salmuera que es sumamente salada y mezclada con distintas sustancias químicas que llegan a ser tóxicas y pueden afectar a la flora y fauna del planeta.

## 2.6. Aspectos técnicos y económicos de la utilización de Agua de Lluvia

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia son capaces de producir agua de alta calidad y segura; es decir que esté libre de gérmenes, ya que este recurso será consumido por la población. Asimismo, debe estar libre de elementos tóxicos del medio ambiente provocados por la contaminación. Por último, debe satisfacer la demanda por la que ha sido diseñada. Por lo que debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

### Precipitación mínima del sitio

Cuando se determine el lugar donde se implementará un sistema de captación de agua de lluvia, se debe obtener la precipitación media anual del sitio con la finalidad de garantizar el abastecimiento de agua a la población que lo requiera durante un año.

### Especificaciones de los elementos y sus componentes

Se debe detallar las características de los elementos que serán parte del sistema de Captación de Agua de Lluvia y de sus componentes como el área de captación, canaletas, conducción, la zona de filtración, tanque de almacenamiento y la toma domiciliaria.

- Área de captación

El área de captación debe obtener el agua de lluvia de manera eficiente, sus dimensiones se obtienen del análisis de las precipitaciones. Los materiales aceptados son de concreto, lámina metálica acanalada, teja, superficie recubierta con polietileno, verificando que no haya liberación de elementos tóxicos por los rayos UV o el mismo ambiente.

Se debe tener en cuenta que se debe cubrir la demanda de la población, una dotación de 2 a 3 litros por persona.

- Canaletas y conducción

Estas conducirán el agua desde el área de captación hasta el depósito. Es la parte económica, pero su dimensionamiento se debe realizar tomando en cuenta el agua a transportar. Estas se deben mantener limpias y en buenas condiciones. Los materiales a emplear son PVC, ABS, Polipropileno y Polietileno con tratamiento de rayos UV. Asimismo, se deben instalar con un desnivel con una pendiente de 5 cm por cada 10 m de longitud, para que el agua se transporte sin dificultad.

- Sistema de filtración

Se coloca un filtro de arenas o material graduado antes de la entrada de almacenamiento para retener hojas, tallos u otros sedimentos y se logre almacenar el agua libre de impurezas con la finalidad de facilitar un tratamiento posterior.

Sin embargo, existen limitantes se tiene que estar presente cuando se producen las precipitaciones, se pierde volumen de agua que puede hacer falta para la satisfacción de la demanda y el pase de agua con sedimentos si no se activa una cuchara que derive el agua inicial con tierra y se cierre cuando ya esté limpia.

- Depósito o tanque de almacenamiento de agua de lluvia

Los depósitos pueden ser instalados bajo tierra, semienterrados de la superficie. Sus alrededores deben estar limpios (libre de animales). Debe tener una cañería de rebalse a una buena altura, con malla para evitar el ingreso de roedores. Asimismo, debe contar con un ingreso para las limpiezas correspondientes. Para el diseño se debe tener en cuenta una forma cilíndrica para igualar las presiones externas del suelo con las del agua.

El material a emplear puede ser un plástico tanto rígido como flexible, que no traspasen olor o sabor y que no generen elementos tóxicos por los rayos UV. También, se podrán construir con materiales convencionales (ladrillo, cemento), dependiendo de la economía y las dimensiones del tanque; siempre y cuando se garantice impermeabilidad, hermeticidad y accesibilidad.

- Toma domiciliaria

Deberá ser diseñado de acuerdo al plano del proyecto. Esta inicia en la llave general ubicada en la salida del tanque a 10 cm por encima del fondo del tanque para que si hubiera presencia de sedimentos finos no lleguen a salir.

Con respecto a los costos, de acuerdo al CONAMA10 (2010) para la construcción de una cisterna para uso doméstico, dotar una familia de 4 miembros, tendría un costo de \$ 3900 (Tres mil novecientos dólares).

### 3. Desarrollo de la Investigación

#### 3.1. Sistema de Captación de Agua de Lluvia

El sistema básico de captación, como mencionado en la revisión bibliográfica, está compuesto de tres partes importantes: captación, conducción y almacenamiento. Adicionalmente, en cada una de estas partes se pueden adicionar elementos que contribuyen a la mejora del servicio, como por ejemplo sistemas de bombeo y dispositivos de control. A continuación, se hace una descripción de cada una de las partes, de los elementos que la componen y el proceso de dimensionamiento.

#### **Área de captación:**

Es el área efectiva del techo que recibirá las precipitaciones y conducirá las mismas hacia las canaletas. El diseño está en función del análisis hidrosanitario pluvial, en el mismo se deben detallar los sentidos de flujo de agua pensando en evitar contaminación del agua de lluvia en el recorrido. Por ejemplo, en este punto de planificación se podrían separar flujos de lluvia que cae en zonas verdes, y que tendrán gran cantidad de sedimentos, de flujos que transcurren caminos en los que no sufren mucha adición de agentes contaminantes, se debe tomar en cuenta esa planificación especialmente si se desea usar el agua de lluvia para consumo.

Para cálculo efectivo del área de captación se puede consultar la norma brasileña NBR 10844/1989, en esta se presentan distintas geometrías de techos y el área equivalente de captación según estas, además se considera un ángulo de inclinación de la lluvia debido a efecto del viento el cual es considerado igual al arco tangente de 2.

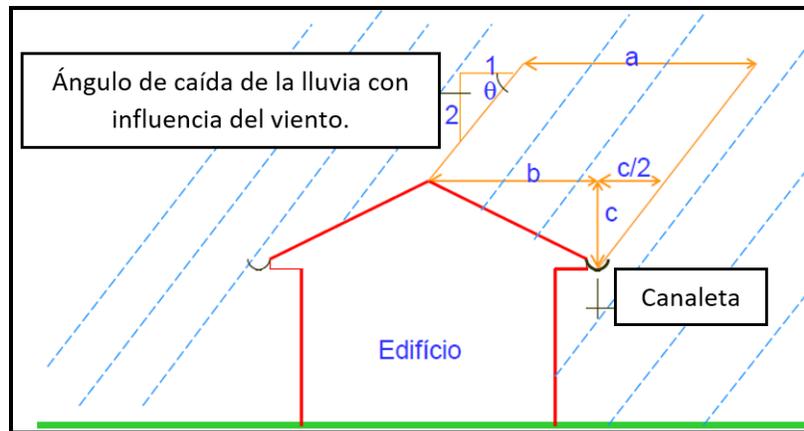


Ilustración 3.1.1 Ángulo de inclinación de caída de la lluvia

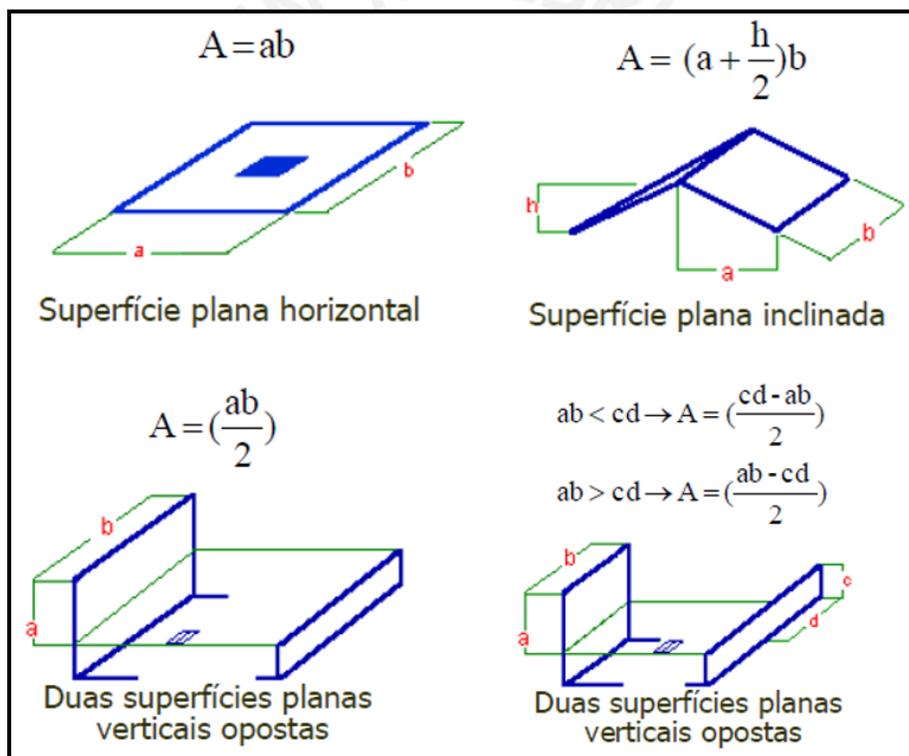


Ilustración 3.1.2 Cálculo de área de captación, Norma brasileña NBR 10844/1989

El área de captación será utilizada para el cálculo de cantidad de agua almacenada, esta debe satisfacer la demanda mínima de agua para los habitantes de la misma, el proceso es explicado posteriormente en el diseño el tanque de almacenamiento.

## Conducción

Esta parte se divide en tres elementos importantes: las canaletas, que son los elementos colocados en el techo de una vivienda para recibir el agua captada; conductores verticales, que son los elementos que reciben el flujo de agua de las canaletas; y conductores horizontales, los elementos que reciben el flujo del conducto vertical y conducen al lugar de almacenamiento

### 1. Canaletas:

El diseño de las canaletas se realiza con la fórmula de Manning-Strickler, la cual se presenta a continuación.

$$Q = k \left( \frac{S}{n} \right) (R_H)^{\frac{2}{3}} (i)^{1/2}$$

Donde:

- Q = caudal del proyecto (L/min)
- S = área de sección mojada (m<sup>2</sup>)
- n = coeficiente de rugosidad
- $R_H$  = rayo hidráulico (m)
- i = declividad de la canaleta (m/m)
- k = 60000

Mediante el uso de esta fórmula se debe garantizar que las dimensiones escogidas consiguen el caudal de diseño.

El material comúnmente usado es de chapa galvanizada y las secciones comunes de canaletas se presentan a continuación.

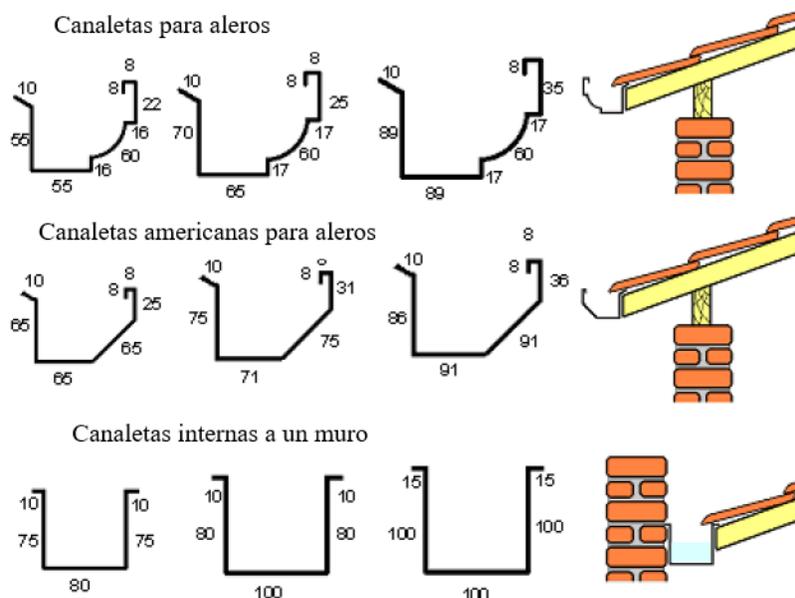


Ilustración 3.1.3 Secciones de canaletas (PCC, 2018)

## 2. Conductores verticales:

Son dimensionados con los gráficos dado por el Centro Científico de Técnicas de la Construcción en Bélgica CSTC en 1975. En dichos gráficos las líneas con pendiente mayor representan la altura de la lámina de agua en la canaleta y las curvas más inclinadas representan la longitud del conductor vertical. En las abscisas se encuentra el caudal del proyecto y en las ordenadas el diámetro interno, el cual es el valor que se extrae de dicho gráfico. El gráfico presentado a continuación muestra valores para la condición de canaleta con salida en esquinas vivas en las que se cumple que no hay una zona de transición entre la dimensión del conductor vertical y las dimensiones de la canaleta.

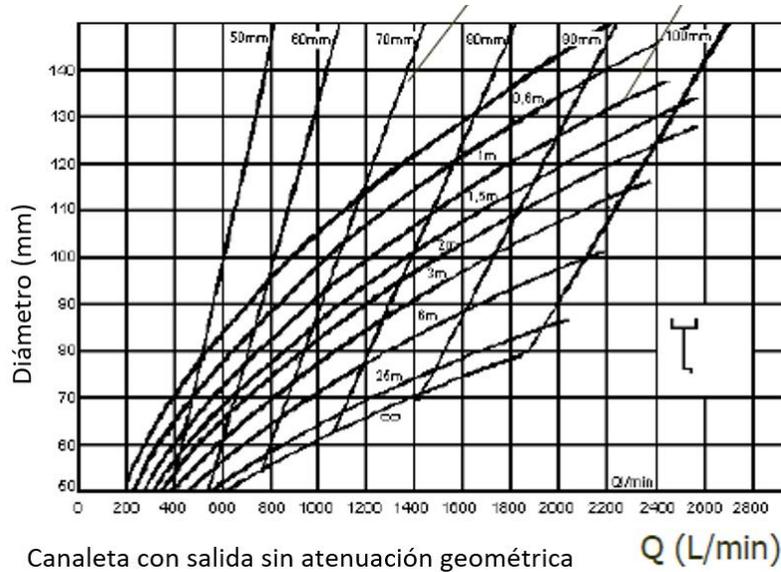


Ilustración 3.1.4 Diagrama para cálculo de diámetro de conductos verticales (CSTC, 1975)

Además, el diámetro del conductor vertical también se puede extraer de la tabla que se presenta a continuación, la cual contiene áreas de proyección en m<sup>2</sup> del techo en función del diámetro del conductor vertical en mm y la precipitación en mm/h (UNIFORM PLUMBING CODE, 1973).

PRECIPITACIÓN	DIÁMETRO DE CONDUCTO VERTICAL			
	50	75	100	125
25	267,8	818,4	1711,2	3217,8
50	135,9	409,2	855,6	1608,9
76	89,3	272,5	570,1	1072,3
101	67,0	204,6	427,8	804,5
127	53,5	168,7	342,2	648,6
152	44,6	136,7	283,5	536,1
178	38,1	117,2	244,6	439,9
203	33,5	102,3	213,9	402,2
229	29,8	91,1	190,2	357,6
254	27,0	81,1	171,1	321,8
279	24,2	74,4	155,8	292,5
305	22,3	67,9	142,3	267,8

### 3. Conductores horizontales:

Para el dimensionamiento de conductos horizontales se debe tener en cuenta una pendiente uniforme mínima de 0.5% y la altura de lámina del agua debe ser igual a 2/3 del diámetro, según recomendaciones dadas en la norma brasileña. A continuación, se presentan unas tablas con capacidades según el diámetro, la pendiente y el número de Manning dado por la norma NBR 10844.

Capacidad de Conductores Horizontales de sección circular (caudal en L/min)

Diámetro interno	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
63	59	84	118	168	55	77	108	154	50	71	100	142
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	110	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

Además, en el sistema de conducción se tiene que prever, según las características del proyecto, el uso de rejillas para filtrar elementos no deseados y además se deben introducir los sistemas de filtración para purificación de agua, estos son escogidos según el aprovechamiento deseado. Los tipos de filtros existentes son revisados posteriormente en la sección de Filtros de Agua del presente informe,

#### 3.2. Diseño del Tanque de Almacenamiento de Agua de Lluvia

El diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia se realizará teniendo en consideración las pautas señaladas en la Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia de la Organización Panamericana de Salud.

Para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia se tiene que tener información de lo siguiente:

- Precipitación mensual en una zona en particular

Se hallará a partir de los datos promedio mensuales de los últimos 10 o 15 años. Esta información se obtendrá de fuentes confiables para un lugar en específico. En el presente proyecto se estudiará una vivienda ubicada en el departamento de Loreto, provincia de Maynas, distrito de Iquitos. El diagrama de precipitación promedio para dicha zona, se muestra a continuación.

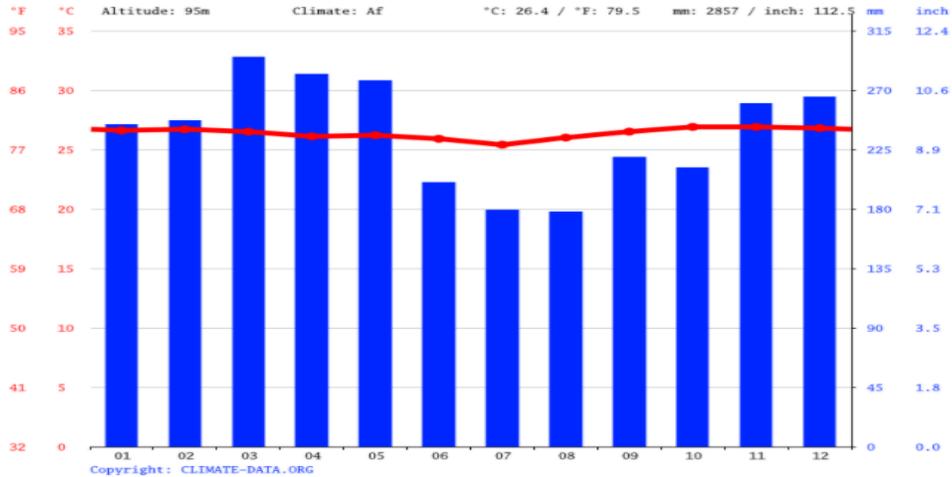


Ilustración 3.2.1 Diagrama de Precipitación de Iquitos (Fuente: Climate Data ORG)

Mes	Precipitación Promedio (mm)
Enero	248
Febrero	250
Marzo	295
Abril	287
Mayo	280
Junio	203
Julio	180
Agosto	178
Setiembre	220
Octubre	213
Noviembre	260
Diciembre	265

Tabla 3.2.1 Datos de Precipitación mensual de Iquitos

- Número de personas beneficiadas

De la vivienda en estudio, se tiene información de la cantidad de personas que habitan en dicho lugar, las cuales serán beneficiadas con el agua captada de las lluvias. En el caso del proyecto, se considerará que la vivienda está habitada por cuatro personas.

- Dotación

La dotación se hallará en Litros por persona por día. Esta información se sacará del Reglamento Peruano de Instalaciones Sanitarias IS010. Según la norma, la dotación de agua para viviendas está a razón de 150 litros por habitante por día.

- Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía depende del tipo de material del techo que capta el agua de lluvias.

<b>COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA</b>	
Calamina metálica	0.9
Tejas de arcilla	0.8-0.9
Madera	0.8-0.9
Paja	0.6-0.7

*Tabla 3.2.2 Coeficientes de Escorrentía*

En el caso de la vivienda en análisis, se supondrá un techo a base de tejas de arcilla con un coeficiente de escorrentía igual a 0.9.

Con los datos mencionados anteriormente, y teniendo en cuenta que se considerara un volumen de 1m<sup>3</sup> como reserva mínima del tanque, se procede a diseñar el sistema de captación de agua de lluvia.

a) Determinación de la Demanda

Con la dotación de agua por persona, se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de toda la vivienda en cada mes del año.

La demanda mensual (Di) se halla con la siguiente relación:

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Donde:

Nu: Número de usuarios que se benefician del sistema

Nd: Número de días del mes analizado

Dot: Dotación (L/persona x día)

Realizando un cálculo demostrativo para el mes de Enero, que consta de 31 días, se tiene:

$$Di = \frac{4 * 31 * 150}{1000} = 18.6 \text{ m}^3$$

Se realiza lo mismo con los demás meses, obteniéndose:

<b>Mes</b>	<b>Nº días (Nd)</b>	<b>Dotación (l/hab/día)</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	31	150.00	18.60
Febrero	28	150.00	16.80
Marzo	31	150.00	18.60
Abril	30	150.00	18.00
Mayo	31	150.00	18.60
Junio	30	150.00	18.00

Julio	31	150.00	18.60
Agosto	31	150.00	18.60
Setiembre	30	150.00	18.00
Octubre	31	150.00	18.60
Noviembre	30	150.00	18.00
Diciembre	31	150.00	18.60

Tabla 3.2.3 Demanda mensual en milímetros

b) Determinación del volumen del tanque de abastecimiento

La cantidad de agua de lluvia captada por el techo de tejas de arcilla de la vivienda se halla con la siguiente relación.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Donde:

P<sub>pi</sub>: Precipitación promedio mensual

C<sub>e</sub>: Coeficiente de escorrentía

A<sub>c</sub>: Área de captación (m<sup>2</sup>)

A<sub>i</sub>: Oferta de agua en el mes “i” (m<sup>3</sup>)

Para el mes de Enero y considerando un área de techo igual a 90 m<sup>2</sup>, se tendría:

$$A_i = \frac{248 * 0.9 * 90}{1000} = 20.09 \text{ m}^3$$

De la misma manera se halla la cantidad de agua captada para todos los meses del año y se calcula, también, el volumen acumulado.

Mes	Precipitación (mm)	Vol. Almacenamiento (m <sup>3</sup> )
Enero	248	20.088
Febrero	250	20.25
Marzo	295	23.895
Abril	287	23.247
Mayo	280	22.68
Junio	203	16.443
Julio	180	14.58
Agosto	178	14.418
Setiembre	220	17.82
Octubre	213	17.253
Noviembre	260	21.06
Diciembre	265	21.465

Tabla 3.2.4 Volumen de almacenamiento mensual en milímetros

Ya obtenido el volumen almacenado y el volumen de demanda, se halla el acumulado de ambos para luego calcular su diferencia. El volumen que debe de tener el tanque de almacenamiento es el correspondiente a la mayor diferencia hallada. Cabe mencionar que no se aceptaran diferencias de los volúmenes acumulados negativos, pues esto indicaría un déficit (valor negativo) en la cantidad de agua del tanque. Es en base a este criterio que se halló el área de captación, que en este caso se es 90 m<sup>2</sup>. A continuación, se muestra una tabla con el balance hídrico explicado anteriormente.

Mes	Precipitación (mm)	Almacenamiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )	Diferencia Acumulada (m <sup>3</sup> )
		V captado	V acumulado	D parcial	D Acumulado	D Mensual	
Enero	248.00	20.09	20.09	18.60	18.60	1.49	1.49
Febrero	250.00	20.25	40.34	16.80	35.40	3.45	4.94
Marzo	295.00	23.90	64.23	18.60	54.00	5.30	10.23
Abril	287.00	23.25	87.48	18.00	72.00	5.25	15.48
Mayo	280.00	22.68	110.16	18.60	90.60	4.08	19.56
Junio	203.00	16.44	126.60	18.00	108.60	-1.56	18.00
Julio	180.00	14.58	141.18	18.60	127.20	-4.02	13.98
Agosto	178.00	14.42	155.60	18.60	145.80	-4.18	9.80
Setiembre	220.00	17.82	173.42	18.00	163.80	-0.18	9.62
Octubre	213.00	17.25	190.67	18.60	182.40	-1.35	8.27
Noviembre	260.00	21.06	211.73	18.00	200.40	3.06	11.33
Diciembre	265.00	21.47	233.20	18.60	219.00	2.87	14.20

Tabla 3.2.5 Balance hídrico del agua de lluvia en milímetros.

De la tabla anterior se tiene que la cantidad de agua captada total es de 233.20 m<sup>3</sup>. Asimismo, la demanda total de agua de lluvia que requieren las cuatro personas beneficiadas de la vivienda es de 219 m<sup>3</sup>.

Por otro lado, nótese que se hallaron dos diferencias, la primera es una diferencia parcial y la segunda, una diferencia acumulada. Si bien, existen valores negativos (déficit en meses particulares) en la diferencia parcial, esto no repercute en el diseño del tanque de almacenamiento, pues es una diferencia de un mes en específico que se compensará con el siguiente mes.

La diferencia acumulada es la cual no debe de salir negativo, pues esto significaría un mal comportamiento del diseño al carecer de lógica tener un volumen negativo en el tanque.

Adicionalmente, se halla el volumen de regulación que es la diferencia entre el volumen máximo y mino que se tiene en cada mes. De la tabla se tiene:

$$Vol\ regulacion = Vmax - Vmin = 5.3 - (-4.18) = 9.48\ m^3$$

A este volumen de regulación se le añade el volumen mínimo que se tiene de reserva. Esto es 1m<sup>3</sup>, tal y como se mencionó antes.

$$Vol\ total = 9.48 + 1 = 10.48\ m^3$$

Finalmente, el volumen del tanque de almacenamiento es la máxima diferencia acumulada o el volumen total hallado. En este caso, la capacidad del tanque vendría a ser 19 m<sup>3</sup>.

Con el fin de lograr una comparación, se realiza el diseño del tanque de almacenamiento para una vivienda de las mismas características, pero ubicada en el departamento de Pasco, provincia de Oxapampa. Los datos de precipitación son los siguientes.

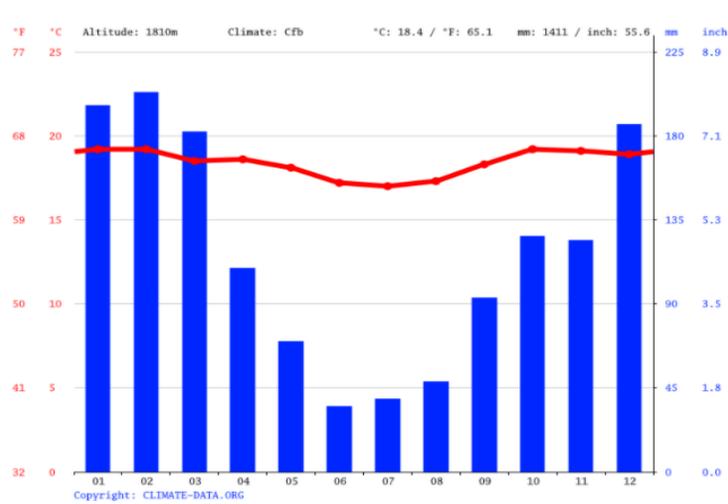


Ilustración 3.2.2 Diagrama de Precipitación de Oxapampa (Fuente: Climate Data ORG)

Mes	Precipitación Promedio (mm)
Enero	200.00
Febrero	205.00
Marzo	182.00
Abril	110.00
Mayo	70.00
Junio	35.00
Julio	40.00
Agosto	48.00
Setiembre	92.00
Octubre	130.00
Noviembre	125.00
Diciembre	185.00

Tabla 3.2.6 Datos de Precipitación mensual de Oxapampa

Luego del balance hídrico realizado, se obtuvo que el área que se requiere para un adecuado volumen de almacenamiento; es decir, sin permitir valores negativos en tanque, es de 190 m<sup>2</sup>. Esto es más del 100% del área requerida en la vivienda de Iquitos.

Por otro lado, el volumen del tanque de almacenamiento asciende a 31 m<sup>3</sup>, lo cual es mayor al volumen del tanque hallado en el caso de la vivienda en Iquitos.

### 3.3. Filtros de Agua

No es recomendable que el agua recolectada sea consumida de forma directa por la contaminación atmosférica y los contaminantes presentes. Existen sistemas de filtración que dependen del uso que se le dará al agua captada.

#### **Para el consumo humano:**

Filtros de agua de luz ultravioleta:

La luz ultravioleta es conocida por emplearse en distintos tratamientos de agua, principalmente por deshacerse de los contaminantes microbianos del agua, alterando el ADN de las bacterias, protozoos y virus para que no se puedan reproducir e infectar. Para realizar este proceso se requiere de 200 a 30 nanómetros (nm) de luz UV y estos serán generados por una lámpara de vapor de mercurio, que depende de la concentración y esta de la presión.

Es por eso que las lámparas se clasifican de baja presión porque producen luz UV a 253.7 nm, que es la longitud de onda ideal. Recientemente, se vio en el mercado lámparas de baja presión/alta potencia o lámparas de amalgama. Estas generan más salida de rayos UV dos y cuatro veces más, respectivamente, que las de baja presión.

El proceso que debe seguir es que el agua debe pasar a través de una cámara alargada donde se expone los rayos de luz de la lámpara de mercurio en un tiempo y con la dosis determinada.

En cuanto a la dosis de rayos UV que el agua debe recibir es inversamente proporcional al caudal de agua que pasará por la manga alargada, asimismo, es importante tener en cuenta que la dosis mínima recomendada por las organizaciones de salud es de 40 mJ/cm<sup>2</sup>.

Es importante tener en cuenta la antigüedad de la lámpara, se recomienda realizar un cambio cada año. Asimismo, se debe verificar el factor de absorción de la luz UV para fines no deseados. Por lo que, se requiere que el agua tenga menos de 7 granos de dureza por galón, menos de 0.3 ppm de hierro, menos de 0.05 ppm de manganeso, que sea clara y libre de partículas y taninos. Si no se cumple, se puede bloquear el paso de la luz y formar sombras, que dificultaran la exposición de los microbios a la luz UV.

Las ventajas de emplear este método son las siguientes:

- Es muy efectivo y no muy costoso, asimismo, se puede realizar el mantenimiento de manera simple.
- No agrega químicos al agua.
- Es un tratamiento de agua muy seguro.

Las desventajas de emplear este método son las siguientes:

- No tiene efecto residual; es decir, las bacterias son tratadas en la lámpara pero después ya no.
- Requiere de suministro constante de electricidad. Si se corta el fluido eléctrico, se debería evitar el uso del agua.



*Ilustración 3.3.1 Filtros por rayos de luz UV*

Filtros de osmosis inversa:

Es un procedimiento de retención de contaminantes y de tratamiento químico bacteriológico que convierte el agua apta para consumo humano. Este consiste en que dos líquidos separados por una membrana semipermeable se equilibren de acuerdo a sus concentraciones, con la característica de que se aplica presión osmótica; es decir, el agua de mayor concentración pasará a la de menor. Este procedimiento es eficaz, seguro y de bajo mantenimiento.

El proceso que debe seguir es que el agua pase por una batería de filtros y una membrana de poliamida semipermeable para que restrinja el paso a los contaminantes como: bacterias, virus, metales, exceso de sal, cloro, etc.

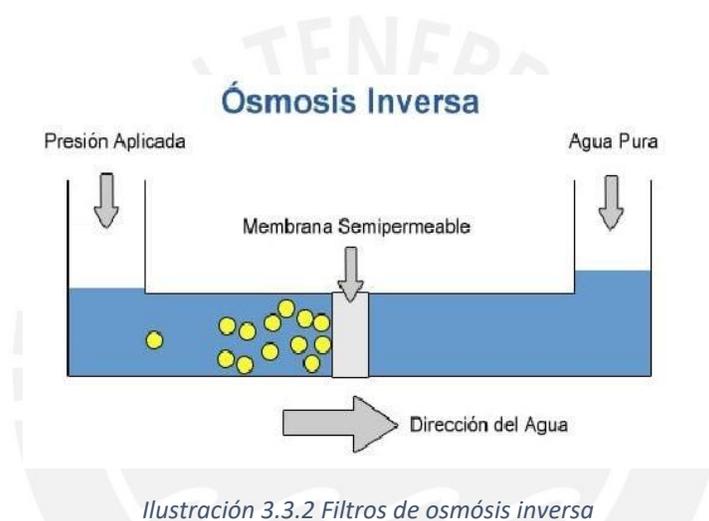
Las máquinas de ósmosis cuentan con un total de 4 filtros, de los cuales 3 funcionan como pre-filtros y están ubicados antes de la membrana. Dos de ellos son de carbón activado, uno para el cloro y otro para evitar el paso de sedimentos mayores a 5 micras (0.005 mm). El uso de estos brindan la ventaja de aumentar la vida útil de la membrana, evitan que se obstaculice el paso del agua y limpia el agua. El otro filtro (post- filtro) es utilizado para filtrar nuevamente el agua que ya fue pre-filtrada (osmotizada). Este tiene la finalidad de mejorar las condiciones del agua y dejarla lista para el consumidor. Este puede ser de carbón activado GAC (como los de prefiltrado) o de carbón activado con plata. Por último, existe la posibilidad de colocarle un post-filtro secundario conocido como un re-mineralizador, que se encargaría de regular el PH del agua de salida y mineralizar el agua.

Las ventajas de este procedimiento son los siguientes:

- Este procedimiento es eficaz, seguro y de bajo mantenimiento.
- Mejoran el sabor del agua.

Las desventajas de este procedimiento son los siguientes:

- Desperdicio de agua que se captó de la lluvia, ya que no toda el agua atraviesa la membrana.
- Peligro por mal mantenimiento, si no se cambian los filtros en el tiempo adecuada empeorará la calidad del agua
- Ph bajo, al reducir las sales el pH disminuye; por lo que, hay la posibilidad de oxidar los grifos.



### Filtros de cerámica

Es uno de los filtros empleados desde hace mucho tiempo para el tratamiento y manejo seguro en el hogar y se pueden instalar de manera sencilla. El equipo de filtración consta de dos recipientes para el almacenamiento y tratamiento de forma simultánea. Estos dispositivos pueden ser velas, un disco o una olla. Las velas de cerámica son los más conocidos y fabricados.

El proceso de funcionamiento de estos filtros empieza por verter el agua en el recipiente superior, este empezará a fluir por la pieza de cerámica, para que se posicione en el recipiente inferior que lo almacenará para luego ser consumida. El proceso de filtración se realizará mediante procesos físicos como el atrapamiento mecánico y la adsorción por los microporos de las velas de cerámica. Si es que existiera turbidez demasiado alta, el agua debe atravesar un paño o se debe dejar sedimentar antes de la filtración.

Estos filtros son efectivos para eliminar bacterias, protozoos, entre otros organismos de gran tamaño. Asimismo, mejora el sabor, olor y color del agua. Adicional al filtro se le debe colocar plata coloidal con la finalidad de inactivar un buen porcentaje de las bacterias. Por último, los

sólidos se eliminan de manera eficiente, pero si hay demasiada turbidez se pueden tapan los poros del filtro de cerámica; por lo que se recomienda realizar una limpieza constante o pre-filtrarla con un paño de algodón.

Las ventajas de este método son los siguientes:

- Este método es simple, económico, de fácil uso y mantenimiento.
- Remueve patógenos, turbidez y sólidos suspendidos.
- Mejora el gusto, olor y color de agua.
- Es posible fabricar con materiales de la zona.

Las desventajas de este método son los siguientes:

- Es medianamente efectiva en la eliminación de virus y hierro.
- No elimina contaminantes químicos, ni todos los patógenos.
- Si el agua esta demasiada turbia obstruye los poros de los filtros cerámicos.
- No hay efecto de desinfección residual; es decir, puede haber riesgo de contaminación.

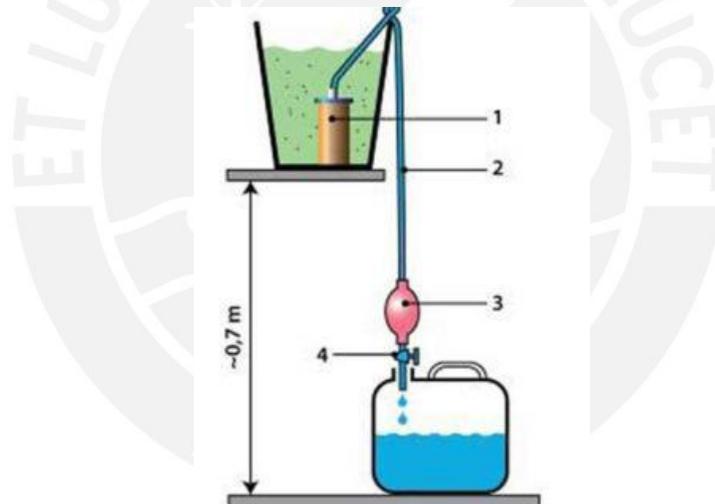


Ilustración 3.3.3 Filtros de cerámica

### Para uso no potable:

#### Filtros de carbón activado

Es un filtro encargado de atrapar los contaminantes de agua orgánicos y químicos. Este método ya ha sido empleado hace muchos años en el tratamiento de aguas residuales

El proceso de filtración inicia con el paso del agua a tratar a presión por el interior del equipo, hasta que haya contacto entre el agua y el carbón activado, este pasará a filtrar y absorber compuestos no deseados. El diámetro del filtro dependerá del caudal del agua que entrara a tratamiento. De acuerdo a la tecnología, existe la posibilidad de cuando el filtro este sucio se realizará un lavado

para eliminar las impurezas atrapadas y continúe trabajando hasta que carbón pierda sus características de absorción, esto sucede cada 2 o 3 años.

Los equipos de filtración de carbón activado incluyen tanque filtrante, válvulas manuales y automáticas, medio filtrante de carbón activado.

Las funciones de este equipo son las siguientes:

- El filtro de carbón activado se emplea para quitar el cloro del agua, purificando el agua para riego y agricultura.
- Tiene una alta capacidad para reducir químicos, color de aguas grises y residuales.
- El carbón activado tiene como función principal absorber olores y sabores del agua captada de lluvia.



*Ilustración 3.3.4 Filtros de carbón activado*

Después de lo descrito, se determinó que el método de filtro a emplear será el de emisión de rayos UV porque es el que garantiza una mayor eliminación de bacterias; sin embargo, se debe emplear otro filtro para los sólidos.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

- La desalinización de agua es un proceso de obtención de agua potable que requiere recursos, no solo económicos, sino también naturales. La desalinización requiere gran energía, la cual se obtiene, en gran porcentaje, de la combustión de combustibles fósiles. Por otro lado, el residuo que genera son los gases liberados en la producción de agua potable y la salmuera, que afecta a la flora y fauna del planeta. Por las razones antes mencionadas, la producción de agua potable por medio de la desalinización no es la mejor alternativa a considerar en la presente investigación.
- Es importante cumplir con los aspectos técnicos de la captación de agua de lluvia en el diseño, ya que el agua que abastecerá será para consumo humano. Asimismo, dichos aspectos permitirán cumplir con el monto especificado para dotar de agua a una familia de 4 miembros.
- En el caso en el que toda la vivienda se abastecerá de agua potable a través del agua de lluvia, la capacidad del tanque de almacenamiento es de 19 m<sup>3</sup>. Este valor es mayor a una capacidad habitual de tanque, pues el diseño de la vivienda se realiza con el objetivo de tener suficiente agua para consumo humano durante todo el año.
- El aprovechamiento de agua de lluvia para consumo humano depende de la zona donde se requiera realizar el diseño. En el caso de estudio del proyecto; es decir, Iquitos, donde la precipitación es alta, se requirió un volumen importante del tanque de almacenamiento. También se realizó un diseño del tanque para la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco, la cual presenta precipitaciones muy por debajo que las de Iquitos. El resultado fue que se requiere una mayor área de captación de agua de lluvias y un mayor volumen para el tanque de almacenamiento.

	Iquitos	Oxapampa	%Diferencia
Área de captación (m <sup>2</sup> )	90	190	211.1
Volumen del Tanque (m <sup>3</sup> )	19	31	163.2

*Tabla 3.3.1 Diferencia de Área de captación y Volumen del Tanque de almacenamiento de viviendas ubicadas en Iquitos y Oxapampa.*

De la tabla anterior se tiene que existe un aumento, tanto en el área de captación, como en el volumen del tanque de la vivienda estudiada en dos lugares distintos, con precipitaciones muy diferentes. Esto demuestra que la realización de proyecto de aprovechamiento de agua de lluvias es más adecuado y útil en los casos donde haya mayores precipitaciones y más aún si es que se presentan precipitaciones a lo largo de todo el año.

- Como el agua captada tiene como objetivo principal abastecer de agua potable, el método de tratamiento de agua seguro es el de emisión de rayos UV, ya que elimina un buen porcentaje de bacterias, que se originan por la contaminación atmosférica y los contaminantes presentes; sin embargo, se debe emplear un método para la filtración de elementos sólidos.
- La correcta distribución del flujo de agua de lluvia en el techo puede disminuir la contaminación de la misma, por lo mismo se recomienda separar el agua que inevitablemente estará más expuesto a mezclarse con, por ejemplo, partículas del suelo producto del paso por áreas verdes; del agua que es menos expuesta a contaminación.



## 5. Referencias

- Abarca, V. J. (2017). Estudio de factibilidad técnico económico de la captación y tratamiento de agua de lluvia en zona urbana. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias y Tecnología del agua.
- ANDINA (2012). “El 76.2 % de hogares de Perú se abastece de agua potable por red pública”. *Andina agencia peruana de noticias*. Consulta: 08 de noviembre de 2020 <<https://andina.pe/agencia/noticia-el-762-hogares-peru-se-abastece-agua-potable-red-publica-404889.aspx>>
- AQUAFONDO (2016) “Estudio de Riesgos Hídricos y Vulnerabilidad del Sector Privado en Lima Metropolitana y Callao en un Contexto de Cambio Climático”
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). NBR 10844 : Instalações Prediais de Águas Pluviais. Rio de Janeiro.
- Basán M., Sánchez L., Tosolini R., Tejerina F. y Jordan P. (2018).” Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura”.
- C. Peña, J. M. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. Bogotá.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (2004) “Norma Chilena Oficial N°1.333” Consulta: 8 de noviembre de 2020 <[http://www.manantial.cl/dinamicos/biblioteca/nch-1333\\_1420918611.pdf](http://www.manantial.cl/dinamicos/biblioteca/nch-1333_1420918611.pdf)>
- Comisión Nacional del Agua (2016).” Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda”. Consulta: 8 de noviembre de 2020 <<https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/CONAGUA-2016.-Lineamientos-t--cnicos-Sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-con-fines-de-abasto-de-agua-pitable-a-nivel-vivienda.-.pdf>>
- CONAGUA. (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.
- Consultora Profesional Agraria Sur. (2014) “La Niebla una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficiente y usos no tradicionales.” Consulta: 8 de noviembre de 2020 <<http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>>
- Congreso Nacional del Medio Ambiente (2010) “Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable” Consulta: 7 de noviembre de 2020 <<http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>>
- Delgadillo, O. L. (2015). Estudio de factibilidad para un sistema de recolección y aprovechamiento de agua de escorrentía en la pontificia universidad javeriana cali como alternativa de uso eficiente de agua.
- E.Germán, R. Gonzales, S. Ruiz.(2013) “Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México.” *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol IV, pp.27-46
- Equipos de Osmosis Inversa (2018) “Cómo funciona un purificador de agua ultravioleta”. Consulta: 06 de diciembre de 2020.

<<https://equiposmosisinversa.com/purificador-de-agua-ultravioleta/>>

H. Fountain.(2019) “¿Cuánto cuesta desalinizar el agua que necesita el mundo?”. *The New York Times*. Consulta:07 de noviembre de 2020 < <https://www.nytimes.com/es/2019/10/23/espanol/mundo/agua-desalinizada.html>>

Istúriz, D. (2019). ¿Cómo se obtiene el agua en Chile? *La Tercera*. <<https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/se-obtiene-agua-chile/758004/>>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020) “La población de Lima supera los nueve millones y medio de habitantes”

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (2011) “Sistema de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina”

J. Lechuga. (2007). “Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica”. *Revista Académica de la FI-UADY*. Vol. 11, pp. 5-14.

J. Medina. (2000). “Desalinización de aguas salobres y de mar en ósmosis inversa”. Madrid: Editorial Mundi Prensa.

L. Herrera (2010). Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Civil.

L. Shrestha y R. Shrestha (2020). “ Filtros de cerámica”. Consulta: 06 de diciembre de 2020.

<<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/manejo-seguro-en-el-hogar/filtros-de-cer%C3%A1mica#:~:text=Los%20filtros%20de%20cer%C3%A1mica%20de,su%20almacenamiento%20seguro%20y%20consumo.>>

M. Basán, L. Sánchez, R. Tosolini, F. Tejerina, P. Jordan (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Aqua-LAC*, 15-25.

M. Lossio (2012) “SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CUATRO POBLADOS RURALES DEL DISTRITO DE LANCONES”

PCC. (2018). *Sistemas Prediais de Águas Pluviais*. São Paulo.

Silva, F. A. (2015). Chile: los atrapanieblas que capturan agua en Atacama, uno de los lugares más secos del mundo. *BBC News*. <[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150521\\_atrapanieblas\\_chile\\_desierto\\_lp](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150521_atrapanieblas_chile_desierto_lp)>

S. Baquero et al. (2018). Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia. Bogotá: Inventum.

The Water & Coffe Company (2017). “Filtros de osmosis inversa: funcionalidad y tipos”. Consulta: 06 de diciembre de 2020.

<<https://www.aguaeden.es/blog/filtros-de-osmosis-inversa-funcionalidad-y-tipos>>

UNESCO. (2015). *Manual de Diseño de construcción de sistemas de captación de aguas de lluvias en zonas rurales de Chile*. Talca.

Vázquez, E. B. (2018). *Captación de agua de lluvia*. Buenos Aires: INTA.

Villarroel, G. (2009). Atrapanieblas: de Chile para el mundo. *BBC News*.  
<[https://www.bbc.com/mundo/participe/2009/04/090422\\_1224\\_participe\\_atrapanieblas\\_am](https://www.bbc.com/mundo/participe/2009/04/090422_1224_participe_atrapanieblas_am)>

