**Estimación de la Rentabilidad Social de Incrementar la Cobertura de Agua Potable y Propuesta de Solución Técnica No Convencional para su Implementación en Lima Metropolitana**

**[Séptimo Concurso de Investigación 2022. Vicerrectorado de Investigación. Universidad del Pacífico]**

**Reporte parcial**

**15 de agosto de 2023**

Presentado por:

José Luis Bonifaza – Julio Aguirrea – Sandro Huamaníb – Jorge García Moscosob – Diana Martensa

1. Departamento Académico de Economía. Universidad del Pacífico. Jr. Sánchez Cerro 2050, Jesús María, Lima 15072, Perú.
2. Dirección de Regulación Tarifaria. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Research Center Universidad del Pacífico. Av. Bernardo Monteagudo 210 – 216, Magdalena del Mar, Lima 15076, Perú.

**Contenido**

[**Introducción** 3](#_Toc142985851)

[**1. Revisión de Literatura** 5](#_Toc142985852)

[**2. Diagnóstico** 6](#_Toc142985853)

[**3. Algunas soluciones no convencionales para mayor acceso al servicio** 7](#_Toc142985854)

[**3.1 Revisión de todas las soluciones no convencionales que se han implementado en Perú, y otras que se han implementado en el mundo.** 7](#_Toc142985855)

[**3.1.1 SISTEMAS CONDOMINIALES** 7](#_Toc142985856)

[**3.1.2 ATRAPANIEBLAS** 11](#_Toc142985857)

[**3.1.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA** 14](#_Toc142985858)

[**3.1.4 DESALACIÓN** 16](#_Toc142985859)

[**3.1.5 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO CONVENCIONAL, PERO CON SUMINISTRO DISCONTINUO DE AGUA** 18](#_Toc142985860)

[**3.1.6 POZOS ARTESIANOS** 19](#_Toc142985861)

[**3.2 Análisis de factibilidad de cada solución [en proceso]** 20](#_Toc142985862)

[**4. Metodología** 21](#_Toc142985863)

[**4.1 Estimación de los beneficios** 21](#_Toc142985864)

[**5. Resultados** 24](#_Toc142985865)

[**5.1 Resultados de la estimación de beneficios** 24](#_Toc142985866)

[**5.1.1 Beneficio por mayor consumo de agua** 24](#_Toc142985867)

[**5.1.2 Beneficio por ahorro en tiempo** 26](#_Toc142985868)

[**5.2 Resultados de la cuantificación de los costos de soluciones no convencionales [SUNASS] [En proceso]** 26](#_Toc142985869)

[**5.3 Análisis de comparación beneficios vs costos: análisis costo-beneficio; análisis costo-efectividad (ver la propuesta final aprobada por el VRI) [UP] [SUNASS] [En proceso].** 26](#_Toc142985870)

[**6. Discusión y conclusiones [UP] [SUNASS] [En proceso]** 27](#_Toc142985871)

[**Referencias preliminares** 27](#_Toc142985872)

# **Introducción**

En los últimos 20 años, Perú ha mejorado el desempeño de sus indicadores económicos y sociales. El PBI total se ha multiplicado por 2.5 veces entre 1999 y 2019, gracias a una tasa de crecimiento anual promedio de 4.61% (INEI, 2021). La solidez de sus políticas macroeconómicas aportó la suficiente resiliencia para enfrentar desafíos como la crisis financiera mundial de 2008 y el evento El Niño de 2017. Según datos del FMI, Perú tuvo la segunda tasa de inflación más baja de la región en 2017. Este desarrollo económico ha permitido una excepcional reducción de la pobreza monetaria y extrema del 58.7% al 20.2% y 16.8% al 2.9%, respectivamente, entre los años 2004 y 2019. Asimismo, la población peruana gozó de mayores y mejores gastos en educación, salud e infraestructura (Seminario, et al., 2017).

El 30 de marzo del 2017, el objetivo del Gobierno de incrementar la cobertura de agua se plasmó en la Política Nacional de Saneamiento, aprobada mediante Decreto Supremo N° 007-2017-Vivienda, la cual es de cumplimiento obligatorio para los tres niveles de Gobierno y las Empresas Prestadores de los Servicios de Saneamiento (EPS), y que tiene como objetivo el alcanzar el acceso universal, sostenible y de calidad a los servicios de saneamiento. En ese sentido, se estructura en 6 ejes de política, en donde una de ellas es: “Acceso de la población a los servicios de saneamiento: priorizando a la población de escasos recursos, logrando el acceso al 100 % en el 2021 para el área urbana y en el 2030 para el ámbito rural”.

Asimismo, el 28 de diciembre del 2016 se crea el Fondo de Inversión de Agua Segura, aprobado mediante Decreto Legislativo N° 1284, con la finalidad de financiar programas, proyectos y/o actividades orientados a cerrar brechas de cobertura de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, contribuyendo a la eficiencia económica y operativa de los prestadores de los servicios de saneamiento y a la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento.

Sin embargo, el cumplimiento del objetivo de incrementar la cobertura de agua potable por parte del Estado puede encontrar dificultades en el actual modelo de gestión de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) que no ha permitido garantizar una solvencia óptima ni acelerar las inversiones en el sector para incrementar significativamente la cobertura del servicio de agua potable.

Lo mencionado ha traído como consecuencia que alrededor de 50% de los hogares en el Perú no cuentan con el servicio de agua potable de manera segura y dicho dato asciende a 57% en las zonas rurales. A pesar de las grandes inversiones en infraestructura, que han permitido progresar en el cierre de brechas a nivel nacional, aún queda mucho por hacer (Gráfico 1). Las brechas geográficas y socioeconómicas del país son muy marcadas. Por ejemplo,en el área rural, en el quintil más pobre, las mejoras son todavía reducidas; y, en el contexto urbano, la población pobre también es afectada, ya que alrededor de 1.2 millones de personas carecen de un servicio de agua potable adecuado.[[1]](#footnote-1)

**Gráfico 1**

**Comparación entre el Perú y otros países: servicios gestionados de forma segura muy por debajo de los países de ingresos medios y altos, y proporción de la población rural con cobertura muy por debajo de otros países en la región**



Fuente: Datos para el Perú de JMP 2017 (OMS y Unicef, 2017).

En el contexto descrito, en donde existe voluntad política para incrementar significativamente las inversiones en el sector saneamiento pero los recursos del Estado son escasos, la presente investigación considera que si el Estado ejecutara proyectos de ampliación de redes de agua potable y alcantarillado sanitario para incrementar el acceso al agua potable por parte de los hogares que actualmente no cuentan con el servicio de Sedapal en Lima Metropolitana, se generarán los siguientes beneficios y costos sociales (Cuadro 1):

**Cuadro 1**

**Beneficios y costos sociales identificados Beneficio**

| **Beneficios cuantificables** | **Costos cuantificables** |
| --- | --- |
| 1. Beneficio por el incremento del consumo y la reducción del precio debido a la sustitución del abastecedor de agua. Se espera que el mayor consumo de agua del hogar, cuando la persona se convierta usuario de Sedapal, elimine la pérdida de eficiencia social (PES).2. Beneficio por el ahorro en tiempo que el usuario invierte por trasladar el agua que compra, debido a que no cuenta con el servicio del agua potable en su hogar.3. Beneficio por el ahorro por evitar el tratamiento médico, debido a la reducción de los casos de diarrea debido al acceso de agua potable. | 1. Costos de inversión.2. Costos de operación y mantenimiento. |

Fuente: Huamaní (2017).

Dado lo anterior, el objetivo general del estudio es realizar un análisis de los beneficios y costos de implementar sistemas de agua potable no convencionales en Lima Metropolitana para generar recomendaciones de políticas públicas que permitan mitigar los efectos negativos de la no disposición de agua potable. La investigación se centra en Lima Metropolitana debido a la disponibilidad de la información necesaria para las estimaciones. Es de interés, entonces, dar respuesta a las siguientes preguntas directrices:

1. ¿Cuál es el beneficio por el incremento del consumo y la reducción del precio debido a la sustitución del abastecedor de agua?
2. ¿Cuál es el beneficio por el ahorro en tiempo que el usuario invierte por trasladar el agua que compra, debido a que no cuenta con el servicio del agua potable en su hogar?
3. ¿Cuál es el beneficio por el ahorro por evitar el tratamiento médico, debido a la reducción de los casos de diarrea debido al acceso de agua potable?
4. ¿Cuál es la mejor solución técnica no convencional para lograr la cobertura?
5. ¿Cuáles son los costos de inversión y los costos de operación y mantenimiento de una solución adecuada?
6. ¿Cuál es el balance de la comparación entre los beneficios y los costos?

Además de esta primera sección introductoria, el presente estudio contiene seis secciones adicionales. En la segunda, se hace una revisión de literatura en relación a los beneficios y costos del acceso a los servicios de agua. En la tercera, se desarrolla un diagnóstico del sector agua en el Perú y en Lima, poniendo en relieve algunas cifras relevantes. En la cuarta, se hace un planteamiento de opciones no convencionales que contribuirían a un mayor acceso al servicio. En la quinta, se explica la metodología a seguir para la estimación de los beneficios del acceso al servicio de agua y la aproximación de los costos de implementación de algunas soluciones no convencionales. En la sexta, se presentan los resultados de la metodología realizada. En la sexta, se presentan las conclusiones y plantean algunos elementos de discusión.

# **1. Revisión de Literatura**

El trabajo realizado por Hutton, Haller y Bartran (2007) publicado en el *Journal of Water and Health*, tuvo como objetivo principal estimar los beneficios y costos económicos de mejorar el acceso al agua potable y alcantarillado en países en vía de desarrollo. Los autores señalan que el acceso al potable y alcantarillado generan efectos sobre la salud y otros distintos a la salud.

El impacto en la salud está asociado a evitar las diarreas infecciosas, por lo que se esperaría que se genere una reducción en las tasas de incidencia y el número de víctimas a consecuencia de dicha enfermedad. Dicho beneficio se estimó como el ahorro de evitar el tratamiento debido a menores casos de diarrea debido al acceso de agua potable y/o alcantarillado.

Hutton, Haller y Bartran (2007) estimaron un ratio beneficio/costo de 8,83 al año por abastecer de agua potable (beneficio total de US$ 15.330 millones y un costo total de US$ 1.737 millones), y un ratio beneficio-costo de 11,7 al año por abastecer de agua potable y alcantarillado (beneficio total de US$ 129.270 millones y un costo total de US$ 11.044 millones).

En el caso peruano, uno de los documentos que describe de manera amplia los beneficios (costos) potenciales de la buena (mala) prestación de los servicios de saneamiento para el caso peruano es el desarrollado por Oblitas (2010) de la CEPAL, quien diferencia dichos beneficios (costos) desde tres perspectivas: i) la social, ii) la económica, y iii) la medioambiental. Para efectos de la presente investigación nos centraremos en la revisión de los beneficios que el autor identificó desde la perspectiva social.

Bonifaz y Aragón (2008) son los primeros autores que cuantifican los beneficios del acceso del agua potable para el caso de Lima Metropolitana. Los autores estimaron, para el año 2007, en US$ 160,23 millones el valor de los sobrecostos por la falta de infraestructura en agua potable basados en una interpretación de la teoría de los costos de transacción desarrollada principalmente por el economista Ronald Coase (1937). Los autores diferenciaron el valor de los sobrecostos según la condición del usuario: i) no conectado y ii) conectado.

Respecto a los usuarios no conectados a la red pública de agua potable, identificaron que éstos se enfrentan a dos sobrecostos: i) la falta de cobertura de agua y ii) la mala calidad del agua. El sobrecosto asociado a la falta de cobertura de agua responde a la utilización de sustitutos de mayor precio. En caso que el abastecimiento sea mediante camiones cisterna, las familias no conectadas a red pública incurren en un costo adicional de S/ 52,7 millones y S/ 45,6 millones, en Lima y provincias, respectivamente.

Si el abastecimiento es proveniente de ríos, acequias, manantiales o caños público, el sobre costo adicional viene dado por el costo de oportunidad del tiempo que las familias incurren para trasladar el agua, que se estima en S/ 24,7 millones en Lima y S/ 167,7 millones en provincias. Asimismo, debido a que la fuente de abastecimiento alternativa es restringida, los no conectados consumen menos que lo que podrían consumir. Es decir, existe un consumo potencial que está siendo perdido por la sociedad a lo que se denomina pérdida de eficiencia social (PES), que se estimó en S/ 105,5 millones en Lima y S/ 32 millones en provincias.

Por último, el sobrecosto de la mala calidad del agua está asociado a la afectación a los niños menores de 3 años con enfermedades diarreicas agudas, lo cual es estimado como el costo que incurren las familias y el Estado para tratar dichas enfermedades. Dicho costo fue estimado en S/ 41,7 millones y S/ 93,8 millones en Lima y provincias, respectivamente.

Finalmente, Carbajal (2014) cuantifica el beneficio en la salud del acceso a los servicios de saneamiento. Sobre el particular, el autor estimó, sobre la base de una técnica econométrica de evaluación de impacto conocida como *Propensity Score Matching* (PSM), que la provisión de agua potable por medio de redes reduce la incidencia de diarrea de los niños menores a 5 años de edad en 3,6% en promedio, mientras que la provisión conjunta del agua potable y alcantarillado, el efecto es de 4,5%.

# **2. Diagnóstico**

A nivel nacional, cifras del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), reportan que al año 2020, el 90.8% (29 millones 525 mil) de la población accede a agua para consumo humano proveniente de la red pública (dentro de la vivienda, fuera de la vivienda o de pilón de uso público). Esto representa un incremento de 4.7 puntos porcentuales en el acceso a agua desde el año 2013.

Según área de residencia, el 94.8% de la población urbana accede al servicio, mientras que el porcentaje de población rural que accede a una red pública de agua es de 76.3%.

En 14 departamentos más del 91% de la población accede a agua por red pública, dentro de este grupo se destacan Moquegua (97.9%), Tacna (97.8%) y la Provincia Constitucional del Callao (97.6%). Los departamentos con menor cobertura de agua por red pública son Tumbes (78.8%), Ucayali (75.7%), Huánuco (73.1%), Puno (71.6%) y Loreto (56.3%).

En cuanto a la condición del agua, el 68% de la población nacional accede a agua para consumo humano (potable) mediante red pública. Por otro lado, un 22.8% consume agua no potable. En el área urbana, un 84.4% de la población consume agua potable, de los cuales 79.3% es por red pública dentro de la vivienda. La situación es más crítica en las zonas rurales, donde solo el 7.2% de la población consume agua potable, de los cuales el 6.5% es por red pública dentro de la vivienda.

Además, de los hogares conectados a la red pública de agua, el 53,7% (16 millones 540 mil) consumió agua con algún nivel de cloro: 38.6% consumieron agua con niveles adecuados de cloro y 15.1% consumieron agua con niveles inadecuados de cloro. Según zona de residencia, el 48.7% de la población urbana consume agua con niveles adecuados de cloro; en tanto, para la población rural este porcentaje es de tan solo un 3.2%.

Respecto a la contigüidad del servicio, el 80.7% de la población con acceso a la red pública de agua accedieron al servicio de forma ininterrumpida. Por otro lado, el porcentaje de hogares que reciben agua con frecuencia no diaria es de 5.1%. El porcentaje de hogares que recibe agua todos los días es mayor en el área urbana (89.9%) que en el área rural (69.9%).

Por su parte, a nivel de Lima Metropolitana, en los últimos 8 años no se han observado mejoras en cuanto a la cobertura del agua potable en Lima Metropolitana. En el 2013, de acuerdo con el INEI, el 94.7% de la población contaba con acceso agua proveniente de red pública; para el 2021, esta cifra descendió a 94%. Esto representa más de 635 mil ciudadanos sin acceso a agua potable.

La SUNASS identifica que la población sin acceso a la red pública se ubica principalmente en zonas periurbanas y es la de menores recursos económicos. De acuerdo con la encuesta Helvetas 2021, en promedio, los hogares conectados perciben ingresos entre S/ 1,401 y S/ 1,900 soles, mientras que el ingreso de los hogares no conectados se encuentra entre S/ 800 y S/ 1,400 soles.

Por último, los hogares sin acceso a la red pública de agua llegan a pagar hasta 6 veces más por el metro cúbico (m3) de agua. Los camiones cisterna venden a el metro cúbico de agua entre 16 a 18 soles, mientras que un usuario conectado a la red paga, en promedio, 3 soles por m3 de agua. La encuesta Helvetas 2021 muestra que, para un mismo nivel de miembros en el hogar, los usuarios no conectados generalmente gastan más que los hogares conectados a la red pública.

# **3. Algunas soluciones no convencionales para mayor acceso al servicio**

## **3.1 Revisión de todas las soluciones no convencionales que se han implementado en Perú, y otras que se han implementado en el mundo.**

### **3.1.1 SISTEMAS CONDOMINIALES**

**DEFINICION**

El sistema condominial de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, surgió en Brasil en los años 80, el cual se presentó como una solución eficaz y de bajo costo para atender las necesidades de acceso a los servicios de saneamiento de las poblaciones urbanas con bajos recursos económicos. El término "condominial" deriva de su similitud con los sistemas de edificios de departamentos, donde las tuberías y conexiones pasan entre o cerca de los lotes, pero en una disposición horizontal, y se abastecen o descargan a conexiones únicas brindadas por el prestador de servicios.

Este sistema permite una gestión descentralizada y una adaptación más flexible a las necesidades específicas de cada zona, lo que es especialmente valioso en áreas densamente pobladas y con recursos limitados.

En su esencia, un sistema condominial de servicios de saneamiento es una solución innovadora que aborda la disponibilidad de agua potable y el saneamiento básico, incluyendo la recolección y el tratamiento de aguas residuales, en contextos urbanos. Su aplicación se ha destacado en países como Brasil, Bolivia y Nicaragua, donde la infraestructura de saneamiento tradicional no es viable debido a restricciones económicas o espaciales.

Entre las principales ventajas de este tipo de sistemas, encontramos una reducción significativa de costos para acceso a los servicios, una participación más estrecha con la población y una alta adaptabilidad.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

A diferencia de los sistemas convencionales, este sistema de redes de abastecimiento de agua y desagüe considera a cada cuadra, manzana o bloque determinado de viviendas como si se tratara de un solo edificio, es decir, cada uno de esos conjuntos de viviendas con una sola conexión de desagüe hacia el colector principal y una sola conexión de agua para el suministro del servicio.

Las viviendas de cada grupo conectan las salidas de sus desechos líquidos, no debajo de las pistas que rodean las manzanas sino por las veredas peatonales; o, si la topografía lo obliga, por el interior de los lotes con el permiso de cada uno de los dueños.

A continuación, se presentan ambos sistemas de manera esquemática:

**Figura 1. SISTEMA CONVENCIONAL**



**Figura 1. SISTEMA CONDOMINIAL**



**VENTAJAS**

1. **Cooperación entre la comunidad:**

Este sistema obliga a la población de estas zonas urbanas de bajos recursos a participar más activamente en la planificación, construcción y mantenimiento del sistema, generando una mayor responsabilidad y compromiso.

1. **Reducción de costos:**

Costos más bajos de ampliación de redes y en renovación de infraestructura, pues generan ahorros en materiales y mano de obra (al haber una menor excavación de zanjas y una menor cantidad de movimiento de tierras); además, para la ejecución de estas obras podría haber apoyo de la población.

1. **Flexibilidad:**

Permite una expansión en el tiempo, permitiendo que el sistema crezca a medida que se incremente la población.

1. **Acceso:**

Con este tipo de sistemas se puede llegar a áreas con problemas económicos y/o geográficos para acceso a los servicios de saneamiento.

**DESVENTAJAS**

* Gestiones complejas con la comunidad: este tipo de sistemas puede requerir un alto nivel de participación por parte de la población, y podrían causarse problemas en la operación y mantenimiento del sistema.
* Requiere capacitación: Al existir una cooperación con la población, es necesario que ellos puedan resolver algunos problemas que se presenten en la operación del sistema, generando una necesidad de capacitación técnica.
* Distribución desigual de costo: podrían haber usuarios con una menor predisposición al pago de tarifas, que otros usuarios se verían en la obligación de cubrir.
* Limitada expansión: no es un sistema muy eficiente cuando se tratan de áreas muy grandes.
* Tendencia a sufrir continuos problemas de mantenimiento: Un mantenimiento deficiente, acarrea consecuencias sobre los sistemas que pueden sufrir fallas o deterioro con el tiempo, esto sumado a que los costos de mantenimiento son cubiertos por la población.
* Cambios en la composición de la comunidad: Nuevos residentes, podrían no adaptarse y aceptar compromisos para la gestión de los servicios de saneamiento.

**EXPERIENCIA NACIONAL**

En el contexto peruano, se pueden observar varias experiencias históricas de esta alternativa, y es posible que en otras regiones también se presenten ejemplos similares. Durante las décadas de los años 50 a 70, se establecieron sistemas condominiales en la costa norte, específicamente en las viviendas de los complejos azucareros de Pátapo, Tumán, Pucalá y Pomalca, todos ubicados en la Región Lambayeque. Sorprendentemente, estos sistemas continúan operativos hasta la fecha, demostrando su eficacia a lo largo del tiempo.

Actualmente el uso de estos sistemas está más difundido para la red de alcantarillado. Y si bien en el pasado, existían más conexiones con un enfoque condominial, hoy en día debido al crecimiento de ciudades como Lima y los cambios en la infraestructura, muchos de estos sistemas han evolucionado hacia una configuración más convencional.

**EXPERIENCIAS INTERNACIONALES**

**BRASIL**

El análisis de 3 casos en Brasil, permite verificar que este tipo de sistemas es factible a gran escala tanto para el sistema de agua como para el sistema de alcantarillado, permitiendo un ahorro de costos y mostrando una adaptabilidad de los sistemas en zonas periurbanas con condiciones desfavorables para el uso de sistemas convencionales.

Además, la participación de la población a gran escala permitió que no se presenten dificultades en el diseño de los sistemas, incluso esta participación fue mayor a la que inicialmente se acordó. No obstante, esta participación debe ir acompañada de una educación sanitaria, para que la población de la comunidad esté informada acerca de la importancia del mantenimiento y los beneficios de salud pública asociados al uso de los servicios.

Finalmente, es necesario asegurar una estructura de costos para poder alcanzar un mayor éxito en la aplicación de esta solución tecnológica.

**BOLIVIA**

Este sistema se desarrolló como un piloto en la ciudad de El Alto, y reportó resultados de ahorro en el diseño del 24% para alcantarillado y el 40% en agua potable; además la participación de la población para la instalación de estos sistemas incrementó el ahorro en el sistema de alcantarillado hasta un 40%, no siendo el caso para el sistema de agua potable.

Desde el punto de vista de los usuarios, las familias ahorraron entre 19 y 80 dólares en términos de conexión de agua y 58 dólares en la conexión de alcantarillado, sin embargo, debido al tiempo invertido en la instalación de los sistemas por parte de la comunidad, no se reflejaron ahorros considerando los bajos costos que tenían los prestadores para acceder a una conexión.

Cabe indicar, que si bien en términos económicos parece no haber ahorros, si existieron beneficios de acceso a los servicios y esto a la larga, se refleja en una mejora sustancial en términos económicos y sociales para la comunidad.

### **3.1.2 ATRAPANIEBLAS**

**DEFINICION**

La captura de niebla para producir agua limpia ha despertado un creciente interés tanto en la comunidad científica como en las comunidades locales en los últimos años. Lo que hace que esta estrategia sea especialmente emocionante es su potencial para transformar el acceso al agua en áreas que históricamente han enfrentado problemas de escasez hídrica. La simplicidad de este enfoque y su capacidad para aprovechar un recurso naturalmente disponible, como la niebla, son elementos que destacan.

En lugares con condiciones áridas y semiáridas, como las zonas costeras de nuestro país, la falta de agua es un problema constante. Las fuentes tradicionales, como ríos y acuíferos, a menudo resultan insuficientes para cubrir la creciente demanda de agua dulce. Aquí es donde la recolección de niebla emerge como una prometedora alternativa. Mediante la utilización de métodos sencillos y de bajo costo, como los colectores de niebla, las comunidades pueden aprovechar la humedad presente en el aire para obtener agua potable y limpia.

La versatilidad de esta técnica es sorprendente. Los dispositivos de captura de niebla pueden ser colocados estratégicamente en diversas ubicaciones, como colinas o áreas elevadas, donde la niebla es más densa y frecuente. Al pasar a través de las estructuras de captura, las diminutas partículas de agua se condensan y forman gotas que se acumulan en recipientes. Todo este proceso puede llevarse a cabo de manera pasiva, sin necesidad de un consumo significativo de energía ni de mantenimiento constante.

La recolección de niebla no solo constituye una solución práctica, sino que también responde a los desafíos actuales relacionados con el medio ambiente y el clima. En un mundo donde el cambio climático está exacerbando la sequía y afectando los patrones de precipitación, esta técnica proporciona un enfoque resiliente para abordar la escasez de agua. Además, al no depender de fuentes de agua convencionales, se disminuye la presión sobre los delicados ecosistemas acuáticos y se contribuye a la preservación del agua dulce.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

Los dispositivos a gran escala para recolectar niebla son estructuras simples en forma de red, rectangulares y planas, fabricadas de nailon, sostenidas por soportes en cada extremo, y dispuestas de manera perpendicular a la dirección predominante del viento. Como alternativa, se pueden emplear colectores más complejos compuestos por múltiples paneles conectados entre sí. La elección de la cantidad y tamaño de los módulos dependerá de las condiciones geográficas locales y de la calidad de los materiales utilizados en los paneles.

Los sistemas que incorporan varias unidades ofrecen la ventaja de un costo reducido por unidad de agua producida, y la cantidad de paneles en uso puede ajustarse según cambien las condiciones climáticas y la demanda de agua. La superficie de los colectores de niebla generalmente consiste en una malla fina de nailon o polipropileno. La malla Raschel, hecha de filamentos planos de polipropileno negro que forman un tejido triangular con 1,0 mm de ancho y 0,1 mm de grosor, permite que alrededor del 30% del agua de la niebla que atraviesa la red sea capturada.

Conforme el agua se acumula en la malla, las diminutas gotas se fusionan formando gotas más grandes que caen debido a la gravedad en un canal ubicado en la parte inferior del panel. Desde allí, el agua se transporta a un tanque de almacenamiento. El colector en sí funciona de manera pasiva y el agua se dirige al sistema de almacenamiento por efecto de la gravedad. Si la topografía del área lo permite, el agua almacenada también puede ser conducida por gravedad hasta el punto de uso. Normalmente, el sistema de almacenamiento y distribución incluye un canal de plástico o una tubería de PVC, con un diámetro de aproximadamente 110 mm, que se puede conectar a una manguera de agua de 20 mm a 25 mm de diámetro para el transporte hacia el lugar de almacenamiento o uso.

Se debe garantizar que existan instalaciones de almacenamiento capaces de contener al menos el 50% del volumen máximo diario proyectado de agua a consumir. Sin embargo, dado que el fenómeno de la niebla no es predecible día a día, es esencial almacenar un excedente de agua para satisfacer la demanda en días donde no se pueda recolectar agua de la niebla. Además, se debe considerar la desinfección del agua para asegurar su potabilidad.

**Figura 2. ATRAPANIEBLAS**



**https://www.expoknews.com/que-es-un-atrapanieblas/**

**VENTAJAS**

* **Fuente alternativa de agua:** Es una fuente no convencional de abastecimiento de agua, principalmente en áreas donde las fuentes convencionales son limitadas, inexistentes o han sufrido una disminución en su caudal. Su uso está más difundido en regiones semiáridas, áridas o costeras con escasez hídrica.
* **Bajo costo:** Son menos costosos en comparación con otras infraestructuras para la obtención de agua, con bajo costo y facilidad de mantenimiento.
* **Resiliente:** No dependen de patrones climáticos predecibles, en comparación con las fuentes convencionales de agua.
* **Sostenible:** Aprovecha la humedad atmosférica, reduciendo la presión sobre otros recursos hídricos (fuentes subterráneas o superficiales).
* **Facilidad de implementación:** Se pueden instalar en áreas remotas o de difícil acceso, donde se dificulta el uso de alternativas tradicionales.

**DESVENTAJAS**

* **Depende de condiciones climáticas:** Puede verse afectado en lugares con sequías prolongadas y bajas tasas de humedad, haciendo que el agua captada sea limitada.
* **Producción variable:** La cantidad de agua captada varía cada día, haciendo que la disponibilidad de agua sea impredecible.
* **Capacidad limitada de producción:** La cantidad de agua captada es baja en comparación con otras fuentes de abastecimiento de agua.
* **Adaptabilidad limitada:** Su capacidad de expansión es limitada por la disponibilidad de lugares para su instalación.

**EXPERIENCIA NACIONAL**

En la actualidad, diversos proyectos de recolección de niebla se encuentran ubicados en áreas periféricas de la costa peruana, en cercanía de asentamientos humanos que carecen del servicio básico de agua y desagüe. Estas comunidades dependen en su mayoría de proveedores informales de agua, conocidos como "aguateros". En consecuencia, uno de los objetivos primordiales de la captación de niebla en cada dispositivo es proveer agua para el consumo humano. Sin embargo, según los análisis realizados por Suiney Herbert, los parámetros medidos en el agua recolectada presentan un nivel de pH de 3.3, lo cual se sitúa por debajo de los estándares exigidos por la norma técnica peruana que regula la calidad del agua. Esta norma establece un rango aceptable de pH entre 5.8 y 8.2.

Como resultado, el agua captada de la niebla no es apta para el consumo humano debido a su pH ácido, lo que afecta a los componentes químicos del agua y provoca una mayor corrosión en las tuberías que transportan y distribuyen el líquido. Esto implica la necesidad de un proceso costoso de purificación que involucre la adición de compuestos alcalinos. Además, se requiere la incorporación de filtros en las mallas de captación para retener elementos contaminantes presentes en la atmósfera. En consecuencia, los proyectos de recolección de niebla en el Perú se enfocan principalmente en actividades como la limpieza doméstica, la industria y el sector agropecuario.

**EXPERIENCIAS INTERNACIONALES**

**CHILE**

La niebla constituye un fenómeno recurrente en diversas regiones alrededor del mundo. En Chile, adquiere una forma particular denominada "Camanchaca", originada sobre el océano y transportada hacia la costa por los vientos. Esta Camanchaca está presente en varios oasis de niebla a lo largo de la costa norte de Chile, Perú y Ecuador, condicionada por factores climáticos y geográficos. En esta zona, la presencia del Anticiclón del Pacífico Sudeste genera una inversión térmica, caracterizada por el descenso de aire cálido desde la atmósfera superior debido a la compresión. Este fenómeno se debe al calentamiento adiabático de las capas centrales de la atmósfera, originado por el movimiento descendente de los centros de alta presión.

Diversas investigaciones realizadas en el sitio de Falda Verde han arrojado resultados variables. En 1985, se logró captar 69,7 litros de agua por metro cuadrado al mes (equivalente a 2,3 litros por metro cuadrado por día) utilizando mallas Rachel con un nivel de sombra del 35%. Por otro lado, según otro estudio llevado a cabo entre 1998 y 2000, se consiguió recolectar 1,43 litros por metro cuadrado por día. Falda Verde se encuentra entre los oasis de niebla con menor disponibilidad de agua en niebla, lo que implica que su captación demanda una instrumentación más sofisticada. A diferencia de Alto Patache, otro oasis con una presencia abundante de niebla y donde se ubica el Centro de Atacama, la recolección en Falda Verde se mantiene constante. De hecho, en este lugar es posible captar agua de niebla incluso durante la temporada de verano. Por lo tanto, con la implementación de un sistema de recolección adecuado, el proceso de captación de niebla en este sitio puede demostrar una eficiencia notable.

### **3.1.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA**

**DEFINICION**

La implementación de una tecnología adecuada para la recolección de agua de lluvia puede desencadenar la utilización de este recurso hídrico, el cual adquiere un valor inestimable y en muchos casos se torna indispensable. Si bien es una solución tecnológica antigua, está cobrando una relevancia fundamental debido a las variaciones temporales y espaciales de las precipitaciones. Esta técnica se torna esencial en regiones con precipitaciones considerables, pero sin sistemas centralizados y convencionales de abastecimiento de agua, así como en áreas donde escasea el agua superficial o subterránea de calidad adecuada.

En América Latina y el Caribe, se observa una variabilidad en las precipitaciones anuales, que oscilan desde menos de 500 mm hasta más de 1,500 mm. Con frecuencia, la mayor parte de la lluvia cae en pocos meses del año, dejando escasa o nula precipitación en los meses restantes. Además, la distribución de las precipitaciones puede variar significativamente a nivel anual y regional en varios países de la región.

En las islas del Caribe, la captación de agua de lluvia en techos y su almacenamiento en cisternas han sido la base del suministro doméstico de agua durante más de tres siglos. Incluso durante la Segunda Guerra Mundial, varios aeródromos fueron adaptados para captar agua de lluvia. Aunque en algunos países la utilización de sistemas de captación en techos ha disminuido, se estima que más de 500,000 personas en las islas caribeñas dependen, al menos parcialmente, de este tipo de suministro. Además, en vastas áreas de países como Honduras, Brasil y Paraguay en América Central y del Sur, la recolección de agua de lluvia desempeña un rol esencial como principal fuente de suministro de agua para uso doméstico, especialmente en zonas rurales.

Esta práctica no solo atiende la necesidad de agua en comunidades con limitaciones de acceso, sino que también subraya la importancia de aprovechar y gestionar eficientemente los recursos naturales disponibles en diversos contextos geográficos y climáticos.

Cabe indicar, que Lima, es una ciudad que se caracteriza por la escasez de precipitaciones (menos de 15mm por año), por lo cual no sería posible adaptar una solución de este tipo.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

Un sistema de recolección de agua de lluvia se compone de tres elementos esenciales: un área de captación, un sistema de conducción y estructuras de almacenamiento. Por lo general, el techo de una vivienda o edificio funciona como el área de captación principal. La eficacia de la recolección y la calidad del agua recolectada están influenciadas por el área efectiva del techo y el tipo de material utilizado en su construcción.

El sistema de conducción típicamente se compone de canalones o tuberías que dirigen el agua de lluvia desde el techo hacia cisternas u otros recipientes de almacenamiento. Para garantizar la integridad del agua recolectada, tanto las tuberías de drenaje como las superficies del techo deben ser construidas con materiales químicamente inertes, como madera, plástico, aluminio o fibra de vidrio, evitando así cualquier impacto negativo en la calidad del agua.

El agua se almacena finalmente en un tanque o cisterna diseñado con materiales inalterables. Opciones como el hormigón armado, la fibra de vidrio o el acero inoxidable son idóneas. Estos tanques pueden ser parte integral del edificio o unidades independientes ubicadas a cierta distancia de la estructura principal.

La planificación y construcción cuidadosas de cada uno de estos componentes son fundamentales para asegurar la eficiencia y la seguridad del sistema de recolección de agua de lluvia, permitiendo así la maximización del aprovechamiento de este valioso recurso hídrico en diversas aplicaciones.

**VENTAJAS**

* La recolección de agua de lluvia proporciona una fuente de agua en el punto donde se necesita. Es operado y administrado por el propietario.
* Constituye una reserva esencial en situaciones de emergencia o cuando los sistemas públicos de suministro de agua presentan fallos, sobre todo durante eventos naturales adversos.
* La instalación de un sistema de captación de agua de lluvia en la azotea se caracteriza por su sencillez, y la comunidad local puede recibir capacitación para su construcción con facilidad, lo que reduce los costos.
* La tecnología es flexible. Los sistemas se pueden construir para cumplir con casi cualquier requisito. Los hogares pobres pueden comenzar con un solo tanque pequeño y agregar más conforme mejor si situación económica.
* Es importante destacar que las propiedades físicas y químicas del agua de lluvia a menudo superan las de las fuentes subterráneas o superficiales, que pueden estar expuestas a contaminantes, en ocasiones de origen desconocido.
* Costos de operación bajos.
* La construcción, operación y mantenimiento no requieren mano de obra intensiva.

**DESVENTAJAS**

* El éxito de la recolección de lluvia depende de la frecuencia y cantidad de precipitación; por lo tanto, no se puede considerar como una fuente de agua fiable durante épocas de clima seco o sequía prolongada.
* La capacidad de almacenamiento limitada puede restringir la captación de agua de lluvia, lo que significa que el sistema podría no ser capaz de proveer agua en periodos de escasa precipitación.
* Puede no considerarse necesaria la desinfección del agua por parte de los propietarios, pudiendo surgir riesgos para la salud.

**EXPERIENCIA INTERNACIONAL**

**EL SALVADOR**

Los resultados muestran que este sistema es capaz de satisfacer todas las necesidades de agua de un hogar durante la temporada de lluvias, pero son muy limitados durante la estación seca, lo cual puede solucionarse con un tanque muy grande (de al menos 40 metros cúbicos), el agua almacenada podría cubrir la demanda durante toda la estación seca, a costa de una importante inversión y un gran requerimiento de espacio.

### **3.1.4 DESALACIÓN**

**DEFINICION**

La desalinización constituye un procedimiento de separación empleado con el propósito de reducir el contenido de sal disuelta presente en el agua salina a un nivel utilizable. En todos los procedimientos de desalinización, se tratan tres flujos líquidos distintos: el agua de alimentación salina (sea agua de mar o agua salobre), el agua de producto de baja salinidad y el concentrado altamente salino (llamado salmuera o agua de rechazo).

El agua de alimentación salina es extraída de fuentes subterráneas u oceánicas y, a través del proceso de desalinización, se divide en dos flujos de salida: el agua de producto con una baja concentración de sal y los flujos de concentrado altamente salino.

El empleo de la desalinización resuelve la contradicción que enfrentan muchas comunidades costeras: disponen de acceso a una fuente virtualmente inagotable de agua salina, pero carecen de medios para aprovecharla. Aunque ciertas sustancias disueltas en el agua, como el carbonato de calcio, pueden eliminarse mediante procesos químicos, otros componentes habituales, como el cloruro de sodio, exigen métodos técnicamente más complejos, colectivamente conocidos como técnicas de desalinización.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

El método más común y ampliamente utilizado para llevar a cabo la desalinización es la ósmosis inversa (RO). En este proceso, el agua de una solución salina bajo presión se separa de las sales disueltas al pasar a través de una membrana permeable al agua. La presión diferencia entre el agua de alimentación presurizada y el agua del producto, que está a una presión cercana a la atmosférica, guía el flujo del agua permeada a través de la membrana. El agua de alimentación restante continúa como salmuera a través del lado presurizado del sistema. No hay cambios de fase ni calentamiento involucrados. La etapa más energéticamente demandante es la presurización inicial del agua de alimentación. Para tratar agua salobre, las presiones operativas suelen variar entre 250 y 400 psi.

En la práctica, el agua de alimentación es bombeada hacia un recipiente sellado para presurizarla antes de entrar en contacto con la membrana. A medida que el agua del producto fluye a través de la membrana, tanto el agua de alimentación restante como la solución de salmuera se vuelven más concentradas. Para reducir esta concentración de sales, se extrae una parte de esta solución concentrada de agua de alimentación y salmuera del recipiente. Sin esta eliminación, la concentración de sales en el agua de alimentación seguiría aumentando, requiriendo cada vez más energía para superar la presión osmótica natural.

Un sistema de ósmosis inversa implica cuatro etapas principales:

1. Pretratamiento: El agua de entrada se somete a pretratamiento para ser compatible con las membranas. Esto incluye la eliminación de sólidos suspendidos, ajuste de pH y la adición de inhibidores para controlar la formación de incrustaciones debido a sustancias como el sulfato de calcio.
2. Presurización: Una bomba aumenta la presión del agua pretratada a un nivel operativo adecuado tanto para la membrana como para la salinidad del agua de entrada.
3. Separación: Las membranas permeables evitan que las sales disueltas pasen mientras permiten el flujo de agua desalinizada. Al aplicar agua de entrada al conjunto de membranas, se obtiene una corriente de agua dulce como producto y otra corriente concentrada de salmuera como rechazo. Dado que ninguna membrana es perfecta en su capacidad para retener las sales, un pequeño porcentaje de sal puede atravesar la membrana y permanecer en el agua dulce producida.
4. Estabilización: Antes de transferir el agua desalinizada al sistema de distribución para su consumo, suele ser necesario ajustar el pH y eliminar gases.

**VENTAJAS**

* Proceso de tratamiento es sencillo; la única complicación radica en hallar o generar un suministro de agua de entrada limpio para reducir la necesidad de limpiar frecuentemente la membrana.
* Los sistemas se componen de módulos prefabricados, lo que brinda una alta flexibilidad y convierte a este tipo de plantas en una solución óptima para el suministro de agua en situaciones de emergencia.
* Costos de instalación económicos.
* Ocupan poco espacio y tiene una gran capacidad de producción.
* Son compatibles con energía solar.
* Aprovecha una fuente de agua abundante y confiable.
* Gran capacidad de eliminación de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos.
* Poco o nulo uso de productos químicos.

**DESVENTAJAS**

* Membranas son sensibles.
* Requiere un pretratamiento para eliminación de partículas discretas.
* Requiere equipos y materiales de alto costo y calidad.
* Se debe mantener un extenso inventario de repuestos, especialmente si son equipos de patente.
* La salmuera debe eliminarse con cuidado para evitar impactos perjudiiales para l medio ambiente.
* Altos costos de operación y mantenimiento.
* Dependientes de energía eléctrica.

### **3.1.5 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO CONVENCIONAL, PERO CON SUMINISTRO DISCONTINUO DE AGUA**

**DESCRIPCIÓN**

Un sistema de infraestructura de abastecimiento de agua en el que una comunidad dispone de redes de distribución y un tanque de almacenamiento, pero el tanque no está directamente conectado a una fuente activa de producción de agua. En lugar de recibir agua de una fuente de suministro continua, el tanque almacena agua para su posterior distribución a través de las redes existentes. Este tipo de sistema es común en áreas donde el suministro de agua es intermitente o cuando la fuente de producción no puede suministrar agua constantemente. El tanque de almacenamiento actúa como un amortiguador para asegurar que la comunidad tenga acceso al agua, incluso cuando la producción es irregular.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

El uso de este tipo de sistema considera la instalación de un tanque de almacenamiento en una cota que permita la distribución a cada una de las viviendas; sin embargo, el sistema no está conectado a una fuente de producción continua de agua y generalmente los volúmenes de almacenamiento son pequeños en comparación con las estructuras convencionales.

Para el suministro de agua a los tanques de almacenamiento, se puede considerar el traslado y llenado de agua con camiones cisterna o complementarse con alguna fuente de producción no convencional de agua mencionada anteriormente.

**Figura 3. SISTEMA CONVENCIONAL – SUMINISTRO DISCONTINUO**



**VENTAJAS**

* Distribución de componentes del sistema iguales a los del sistema convencional, permitiendo el suministro intermitente hasta que se pueda conectar a una fuente continua de agua.
* Aprovecha la topografía de la zona y reduce costos de energía.

**DESVENTAJAS**

* Altos costos de transporte pues los camiones cisterna cuentan con una capacidad limitada de agua.
* Requiere la designación de alguna persona de la comunidad para el cierre y apertura de la llave de suministro, la cual debe transportarse hasta la parte alta.
* Requiere contar con acceso para los camiones cisterna hasta el reservorio.
* La comunidad debe tener conciencia del uso del agua, pues los volúmenes de almacenamiento no son grandes.

### **3.1.6 POZOS ARTESIANOS**

**DESCRIPCIÓN**

Un pozo artesiano es un tipo de pozo de agua que se forma cuando un acuífero confinado, que es una capa de roca permeable atrapada entre capas de roca impermeable, se encuentra bajo presión y permite que el agua fluya naturalmente hacia la superficie sin la necesidad de bombas o intervención mecánica. En esencia, el agua en un pozo artesiano se eleva por sí sola debido a la presión en el acuífero. Esta presión puede ser suficiente para hacer que el agua fluya naturalmente hacia la superficie cuando se perfora un pozo en la capa superior de roca impermeable.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

Un pozo artesiano es una estructura de perforación en la tierra que permite el acceso a un acuífero confinado, donde el agua subterránea se encuentra bajo presión natural y puede fluir hacia la superficie sin la necesidad de bombas.

A esta afloración de agua se le construye una infraestructura que permita su protección sanitaria.

**Figura 4. POZO ARTESANO**





**VENTAJAS**

* Suministro constante de agua.
* No dependiente de la energía eléctrica, pues el agua aflora naturalmente por la presión en el acuífero confinado.
* Bajos costos operativos.
* Ofrece una calidad de agua aceptable.
* Ubicación flexible.

**DESVENTAJAS**

* Altos costos de inversión inicial para su perforación.
* Dependencia de la geología para su funcionamiento.
* Requiere monitoreo para evitar su sobreexplotación.

## **3.2 Análisis de factibilidad de cada solución [en proceso]**

# **4. Metodología**

## **4.1 Estimación de los beneficios**

La metodología a emplear es una aproximación de la metodología utilizada por Hutton, Haller y Bartran (2007) para estimar los beneficios y costos económicos de mejorar el acceso al agua potable y alcantarillado en países en vía de desarrollo. En general, la metodología consiste en un análisis costo-beneficio a nivel social, que busca cuantificar el impacto en el bienestar de una intervención, para tal fin, se compara el valor de todos los beneficios cuantificables asociados a una política específica (o intervención) con los costos de implementación de dicha política.

El análisis costo-beneficio ayudará a decidir si una intervención debe ejecutarse o no. Al respecto, los economistas se fijan en el valor del cociente entre los beneficios y los costos. El criterio para realizar la intervención cuyos beneficios, B, son superiores a los costos, C, pueden expresarse de la siguiente forma:

Realiza un proyecto si B/C > 1

En el supuesto de que el Estado deba elegir entre varias intervenciones, entonces debe elegir aquella intervención cuyos beneficios netos sean máximos, no aquella cuyo cociente entre los beneficios y los costos sea más alto.

En función al marco teórico y la hipótesis planteada, se propone estimar el incremento en el beneficio social (BS) de abastecer de agua potable a los hogares que no cuentan con dicho servicio en Lima Metropolitana como la suma del:

1. Beneficio por el incremento del consumo y la reducción del precio debido a la sustitución del abastecedor de agua, es decir, por pasar a ser usuario de Sedapal (beneficio por mayor consumo de agua),
2. Beneficio por el ahorro en el tiempo de traslado del agua desde el lugar de compra hasta la vivienda (beneficio por ahorro en tiempo) y
3. Beneficio por el ahorro en el gasto del tratamiento por evitar enfermedades diarreicas (beneficio por ahorro en tratamiento).

Lo mencionado se reduce en la siguiente fórmula:

*BS=Beneficio por mayor consumo de agua + Beneficio por ahorro en tiempo + Beneficio por ahorro en tratamiento… (1)*

En primer lugar, el mayor consumo de agua, luego de la sustitución del abastecedor de agua, se explica debido al menor precio del agua que cobra Sedapal y la mayor frecuencia (disponibilidad) del servicio que ofrece este a diferencia del servicio que ofrecen los camiones cisternas.

El consumo del agua, a un menor precio y con mayor disponibilidad del servicio, genera un incremento en el excedente del hogar (excedente del consumidor) que hoy no cuentan con el servicio de Sedapal, parte del nuevo excedente es solo bienestar que se traslada de los propietarios de los camiones cisternas a los hogares, y la otra parte constituye efectivamente un mayor incremento en el bienestar social. Asimismo, la incorporación a la cartera de usuarios de Sedapal de los hogares en análisis generará mayores ingresos a la empresa que, descontando los costos de brindar el servicio y parte del beneficio que hoy corresponde a los propietarios de los camiones cisternas, constituyen incrementos en el bienestar social.

El gráfico siguiente muestra el incremento en el bienestar social por el mayor consumo de agua a partir de la situación inicial del hogar, que cuenta con un excedente del consumidor equivalente al área A. Una vez que el hogar pasa a ser usuario de Sedapal se generan dos efectos en el consumo, uno vía precios (efecto 1) y otro vía mayor disponibilidad del servicio (efecto 2), que generan un incremento en el excedente del consumidor equivalente a las áreas B, C, D y E, sin embargo, el área B solo representa un traslado de excedente del propietario de los camiones cisternas hacia el hogar, por lo que, el aporte al bienestar social por parte del consumidor es la suma de las áreas C, D y E.

Asimismo, el ingreso incremental de Sedapal viene dado por la suma de las áreas F, G, H y J, sin embargo, el área F es solo un traslado de recursos del propietario de los camiones cisternas hacia Sedapal, por lo que, el aporte al bienestar social por parte de Sedapal es la suma de las áreas G, H y J menos el costo de brindar el servicio.

**Gráfico 2**

**Beneficio por mayor consumo y menor precio del servicio de agua**



Fuente: Huamaní (2017).

Para estimar el valor de las áreas que representa un mayor bienestar social se emplea una función de demanda de los hogares que hoy no cuentan con el servicio de Sedapal. La función de demanda viene dada por Q (P, Z), en donde el precio del servicio (P) y variables (Z) tales como la cantidad de personas, capacidad de almacenamiento, entre otras, explican las variaciones de la cantidad consumida (Q). La función de demanda se podría representar de la siguiente forma:



Donde:

LnQ: Es el logaritmo de la cantidad consumida en metros cúbicos al mes por parte del hogar “i”.

LnP: Es el logaritmo del precio (S//m3) que asume el hogar “i”.

Frecuencia: Es el número de veces que el camión cisterna pasa por el hogar “i” (Disponibilidad del servicio).

NumPersonas: Es el número de personas que conforman el hogar “i”.

CapAlmacenamiento: Es la capacidad de almacenamiento que cuenta el hogar “i”.

Como se mencionará más adelante, sería posible trabajar con encuestas similares de los años 2015 y 2020. Por lo tanto, como parte del trabajo de investigación se determinará la estrategia econométrica más idónea para los datos disponibles. No obstante, se anticipa la existencia de un problema de endogeneidad en la variable LnP, lo que conllevaría a evaluar la posibilidad de recurrir a algún instrumento fuente de exogeneidad (por ejemplo, existe la posibilidad de disponer de datos georeferenciados de la red pública de agua y alcantarillado de Lima, lo que permitiría generar variables de distancias euclidianas desde los hogares al punto más cercano de dicha red, tal como en Gómez-Lobo et al. (2022)).

De otro lado, la función Q (P, Z’) representa la función de demanda bajo las condiciones del ser-vicio de Sedapal, es decir aquella situación en donde la disponibilidad de agua es siempre y la capacidad de almacenamiento irrelevante. En ese sentido, dado el gráfico anterior, el aporte al bienestar social tanto del hogar o usuario y de Sedapal viene dado por las siguientes expresiones:

Usuario:



Empresa (Sedapal):



Donde:

Ptope: Es el precio en donde la cantidad de agua consumida por parte del usuario es cero.

P1: Es el precio que pagarían los hogares al ser usuarios de Sedapal (S//m3).

P0: Es el precio que actualmente pagan los hogares por el agua (S//m3).

Q0: Es la cantidad de agua que actualmente consumen los hogares (m3).

Q2: Es la cantidad de agua que consumirían los hogares al ser usuarios de Sedapal (m3).

Finalmente, el beneficio por mayor consumo de agua viene dado por:



En segundo lugar, en cuanto a la estimación del beneficio por el ahorro al mes que tendrían los hogares por no incurrir en costos de traslado del agua desde el lugar de compra hasta la vivienda (beneficio por ahorro en tiempo), esta se tendría que dividir en dos: i) la estimación del ahorro para el hogar cuando uno de sus miembros es quién traslada el agua, en este caso es importante definir un valor del tiempo, y ii) la estimación del ahorro para un hogar que emplea mangueras. Lo mencionado se reduce en la siguiente fórmula:



Donde:

i: Hogar en donde un miembro (padre, madre o hijo) es el encargado de trasladar el agua.

j: Hogar que traslada el agua a través de mangueras.

VST: Valor social del tiempo (S//minutos).

TTAi: Tiempo que incurre al mes el hogar “i” para trasladar el agua desde el punto de compra hasta su vivienda (minutos).

VM: Valor de la manguera que se emplea para el traslado del agua desde el punto de compra hasta la vivienda (S//metros).

Di: Distancia desde el punto de compra hasta la vivienda del hogar “j” (metros).

En tercer lugar, el acceso de agua potable genera el beneficio por ahorro en el gasto de tratamiento de enfermedades diarreicas agudas (beneficio por gasto en tratamiento) y otras enfermedades vinculadas a la ausencia de agua potable. En detalle se evita el costo para los hogares por cada episodio de EDA y costo para el Estado de tratar la EDA. En ese sentido, se estima el beneficio por el ahorro en el gasto del tratamiento mediante la siguiente fórmula.



Donde:

CHD: Costo para los hogares por cada episodio de EDA (S/)

CED: Costo para el Estado de tratar la EDA (S/).

NEH: Número de episodios por hogar

N: Número de hogares sin el servicio de Sedapal.

# **5. Resultados**

## **5.1 Resultados de la estimación de beneficios**

### **5.1.1 Beneficio por mayor consumo de agua**

Se parte de la ecuación de demanda por agua de los hogares no conectados a la red pública de agua. La función de demanda viene dada por Q(P,Zi) en donde el precio del servicio (P), la frecuencia de abastecimiento, el número de personas en el hogar y la capacidad de almacenamiento del hogar explican la cantidad consumida de agua (Q).

Dada la función de demanda, se va a estimar el consumo de agua de los hogares bajo dos escenarios: i) la situación actual, donde no están conectados a la red pública de agua; y, ii) una situación en donde están conectados a la red pública de agua. De esta forma, el beneficio por mayor consumo se calcula a partir del cambio en la cantidad demandada de agua por los hogares tras el acceso a la red pública de agua. De forma gráfica:

**Gráfico 3**

**Estimación de beneficios**

Precio

Cantidad

Po

P1

(Precio cisterna)

Qo

Q1

(Mayor disponibilidad de agua)

A

B

D

F

J

H

G

C

(Precio sedapal)

El bienestar social corresponde tanto al bienestar del consumidor o usuario como del proveedor:

BS = C + D + E + C+ H +J

Usuario:

 … (1)

Proovedor:

 … (2)

Se estima la ecuación de demanda por agua de los hogares no conectados planteada en (1) mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

**Cuadro 2: Estimación de la función de demanda utilizando MCO**



A partir de los coeficientes estimados en el Cuadro 2, se calculan los componentes (1) y (2), lo cual reportan como resultado un beneficio mensual de S/ 58.26 soles por hogar.



### **5.1.2 Beneficio por ahorro en tiempo**

El beneficio por ahorro en tiempo se estima calculando el valor económico del tiempo que le toma al hogar abastecerse de agua. Así:

Donde, VST es el valor social del tiempo en zonas urbanas no laboral;
TTA, es el tiempo en minutos que incurre al mes el hogar i en abastecerse de agua; y, frecuencia es el número de días al mes en el que el hogar compra agua.

Para este cálculo se considera el valor social del tiempo que estable el SNIP para la evaluación social de proyectos. Dadas las características de la población analizada, se utiliza el valor que corresponde a las zonas urbanas con propósito no laboral: S/ 0.03 por minuto.

Siguiendo la formula planteada en (2), se calcula un ahorro mensual promedio por hogar de S/ 11.06.



## **5.2 Resultados de la cuantificación de los costos de soluciones no convencionales [SUNASS] [En proceso]**

## **5.3 Análisis de comparación beneficios vs costos: análisis costo-beneficio; análisis costo-efectividad (ver la propuesta final aprobada por el VRI) [UP] [SUNASS] [En proceso].**

# **6. Discusión y conclusiones [UP] [SUNASS] [En proceso]**

# **Referencias preliminares**

Ayman F. Batisha (2015). Feasibility and sustainability of fog harvesting,Sustainability of Water Quality and Ecology, Volume 6, Pages 1-10, ISSN 2212-6139, <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.01.002>.

Al-Houri, Zain & Abu-Hadba, Oday & Hamdan, Khaled. (2014). The Potential of Roof Top Rain Water Harvesting as a Water Resource in Jordan: Featuring Two Application Case Studies. 8. 147-153. 10.5281/zenodo.1096279.

Barrios Napurí Carlos (2007). "Desarrollo Tecnológico Y Participación Comunitaria: Fortalezas Ante La Prevista Crisis Del Agua," Desarrollo local sostenible, Servicios Académicos Intercontinentales SL. Hasta 31/12/2022, issue 0, October.

Di Bitonto, Maria Giovanna & Angelotti, Adriana & Zanelli, Alessandra. (2020). Fog and Dew Harvesting: Italy and Chile in Comparison. International Journal of Innovative Research and Development. 9. 10.24940/ijird/2020/v9/i3/MAR20056.

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/gemrapucp/2022/05/06/sistema-de-atrapanieblas-en-la-costa-peruana/>

Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Köhler, T., Gherezghiher, T., & Hurni, H. (2014). Fog-water collection for community use. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 29, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.063>

Foster, V. (2001). Sistemas condominiales de agua y alcantarillado, Costos de implementación del modelo (in Spanish) - Condominium water and sewage systems, costs of model implementation. WSP

GTZ/PROAGUA (2003). Guía de Implantación de la Tecnología Condominial por una Empresa de Saneamiento. Lima.

Hugues, Ronnie Torres. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 40(2), 125-139. Recuperado en 13 de agosto de 2023, de <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es>.

Melo, Jose Carlos (2020). The experience of condominial water and sewerage systems in Brazil: case studies from Brasilia, Salvador and Parauebas : La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil: estudio de casos de Brasilia, Salvador y Parauapebas (Spanish). Water and sanitation program Washington, D.C.: World Bank Group.

Robert S. Schemenauer, & Pilar Cereceda. (1991). Fog-Water Collection in Arid Coastal Locations. Ambio, 20(7), 303–308. <http://www.jstor.org/stable/4313850>

Rovira, María Dolores & Rovira, Carolina & Masferrer, Manuel. (2020). Is-Rainwater-Harvesting-a-Solution-for-Water-Access-in-Latin-America-and-the-Caribbean-An-Economic-Analysis-for-Underserved-Households-in-El-Salvador. 10.18235/0002689.

Watson, G. (1995). Good sewers cheap? Agency-customer interactions in low-cost urban sanitation in Brazil.

1. Dato del 2019 presentado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Los avances del 2019 se refieren a las personas que no están conectadas a una red de agua potable. [↑](#footnote-ref-1)