




METALES PESADOS EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO: **UNA PROPUESTA PARA SU REMOCIÓN**

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

 **BluAct**
Technologies

SABAVIDA

METALES PESADOS EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO: UNA PROPUESTA PARA SU REMOCIÓN

Documento de sistematización del “Piloto para la eliminación de metales pesados del agua potable para consumo humano”



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



Sistematización elaborada por:



CONTENIDO

| | |
|-------------------|---|
| Resumen Ejecutivo | 5 |
|-------------------|---|

| | |
|---|---|
| 01 Problemática de la calidad del agua en el Perú | 6 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| 02 Proyecto piloto: validación de la tecnología de filtros para la remoción de metales pesados de agua potable | 8 |
|--|---|

| | |
|--|----|
| 03 Tecnología de filtros para la remoción de metales pesados en agua para consumo humano | 12 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 04 Desarrollo de la experiencia piloto: uso en sistemas doméstico y comunal | 14 |
|---|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 05 Resultados del estudio piloto | 17 |
|----------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 06 Los factores que inciden en el desarrollo de la propuesta tecnológica | 20 |
|--|----|

| | |
|-----------------|----|
| 07 Conclusiones | 21 |
|-----------------|----|

| | |
|--------------------|----|
| 08 Recomendaciones | 23 |
|--------------------|----|

Resumen Ejecutivo

El presente documento resume el estudio piloto de validación en Perú de una opción tecnológica (material filtrante granular) para remover metales pesados en el agua para consumo humano. El estudio se realizó entre los años 2019 y 2020, en cuatro departamentos del Perú (Lambayeque, Cerro de Pasco, Moquegua y Tacna), donde una parte de la población consume agua con presencia de arsénico y plomo en niveles que superan los límites máximos permisibles (0.01mg/lit). La tecnología utilizada ha sido desarrollada por BluAct Technologies (compañía spin off de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich - ETH) basada en fibras de proteína de lactosa y carbón activado que no necesita energía, es de bajo costo, adaptable a diversos formatos, escalable y sin efectos secundarios para abordar el problema de metales pesados en el agua para consumo humano. El estudio fue auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y fue ejecutado por SABAvida, en concordancia con lo establecido en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas de Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (RM 192-2018-VIVIENDA).

En una primera etapa, el material filtrante se evaluó a través de filtros domésticos en centros poblados rurales y periurbanos conectadas a varias modalidades de abastecimiento de agua, con la finalidad de analizar su comportamiento en diversos contextos locales, conocer su eficiencia, e implementar los ajustes de diseño pertinentes para llegar a un modelo óptimo. De otro lado, se instaló el material filtrante granular en tres plantas de tratamiento de agua, de diversa configuración y cobertura, para probar la adaptación y capacidad de retención de metales pesados, con especial énfasis en el arsénico. En una segunda etapa, aprovechando la reciente instalación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en Yacango (Moquegua), y en acuerdo con las autoridades regionales y municipales, se realizaron adaptaciones para la utilización del material filtrante, y se realizaron cálculos y proyecciones de su inclusión en el sistema de abastecimiento de agua.

En este proceso, los gobiernos locales, desde sus Áreas Técnicas Municipales cumplieron un importante rol en la coordinación de las acciones, involucrando a familias y representantes de organizaciones sociales, funcionarios y técnicos gubernamentales, como la Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento (DRVCS) de los gobiernos regionales, la Gerencia de Desarrollo Social de las municipalidades, establecimientos de salud, entre otros. Además, en el marco del piloto, se realizaron acciones de fortalecimiento de capacidades de los diversos actores en el manejo adecuado del material filtrante.

Los resultados generales de la aplicación del material filtrante confirman su eficiencia en la reducción de la concentración de arsénico y plomo, su adaptabilidad a los diversos sistemas de tratamiento de agua en zonas rurales, así como su viabilidad para su escalamiento (costos, acceso a insumos, logística, operación y mantenimiento) y su alta costo-eficiencia.

1

Problemática de la calidad del agua en el Perú

Los recursos mundiales de agua dulce están cada vez más contaminados con metales pesados y otros contaminantes (ONU, 2020)¹. La contaminación por metales pesados en el agua potable representa una amenaza grave para la salud humana (Fernández-Luqueño et al., 2013)². Para garantizar el suministro de agua potable de forma segura, su tratamiento eficiente es una condición previa necesaria. Perú no es ajeno a esa situación, por lo cual el sector saneamiento indica que entre los problemas aún en vías de solución se encuentra la incorporación de tecnologías para la remoción de metales pesados, a efectos de asegurar la calidad fisicoquímica del agua en diversas poblaciones del Perú (MVCS, 2021)³.

La contaminación ambiental por metales pesados en general, y la contaminación del agua en particular, representa uno de los problemas socio-ambientales y de salud pública de gran relevancia en el Perú. El origen es diverso: por las características y procesos geológicos de los territorios, el vertimiento de las aguas residuales y de residuos industriales, los residuos agroquímicos, relaves mineros, y pasivos ambientales. Además, por la escala y alcance de los impactos negativos genera alteraciones en la salud de la población, la producción y el medio ambiente⁴. En el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026³ se reconoce la problemática de la contaminación de agua de consumo humano con metales pesados, y solucionarla requiere desarrollar y validar propuestas tecnológicas de remoción de metales pesados.

El Ministerio de Salud estableció que al año 2020, más de 10 millones de personas (30% de la población nacional) estaría en riesgo de exposición a metales pesados y otras sustancias tóxicas y que **más de 6 millones (20%) estaría en riesgo de exposición al arsénico y a otros metaloides**⁵.

Tabla 1. Centros poblados afectados por presencia de metales pesados en el agua para consumo humano 2014 – 2015

| Departamento | Centros Poblados | | % | Parámetros |
|--------------|------------------|---------------|-------------|---|
| | Total | Afectados | | |
| Tumbes | 309 | 84 | 27.2 | Aluminio, Arsénico, Cadmio, Hierro, Manganeso, Sodio, Plomo |
| Piura | 3 591 | 1 293 | 36.0 | Aluminio |
| Lambayeque | 1 748 | 70 | 4.0 | Aluminio |
| La Libertad | 4 637 | 696 | 15.0 | Arsénico, Sodio |
| San Martín | 6 511 | 1 042 | 16.0 | Arsénico |
| Lima | 6 118 | 245 | 4.0 | Aluminio, Arsénico, Cadmio, Hierro, Sodio, Níquel |
| Cusco | 10 217 | 4 905 | 48.0 | Arsénico, Aluminio, Hierro |
| Huancavelica | 7 052 | 1 975 | 28.0 | Arsénico, Aluminio, Hierro |
| Ica | 2 183 | 197 | 9.0 | Aluminio, Arsénico, Hierro |
| Ayacucho | 7 693 | 539 | 7.0 | Arsénico |
| Moquegua | 1 377 | 179 | 13.0 | Aluminio, Arsénico, Boro, Cromo, Hierro, Sodio, Níquel |
| Tacna | 874 | 184 | 21.1 | Aluminio, Arsénico, Hierro |
| Total | 52 310 | 11 409 | 21.8 | |

Fuente: DIGESA⁶.

1. UNESCO, ONU-Agua, 2020: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, París, UNESCO.
2. Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suárez, S., Aguilera-González, E.N., Martínez, A.I., García-Guillermo, M.d.S., Hernández-Martínez, G., Herrera-Mendoza, R., Álvarez-Garza, M.A., Pérez-Velázquez, I. R., 2013. Heavy metal pollution in drinking water - a global risk for human health: A review. Afr. J. Environ. Sci. Technol. 7: 567-584.
3. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021. Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026.
4. Defensoría del Pueblo. 2021. En defensa de las personas expuestas a metales pasados, metaloides y otras sustancias químicas: Los impactos de la contaminación ambiental. Serie Informes de Adjuntía. Informe de Adjuntía N° 19-2021-DP/AMASPPI.
5. Viceministerio de Salud Pública. Informe Especial N° 060-2020-JAMC-DENOT-DGIESP/MINSA.
6. COSUDE. 2022. Justificación Técnica Sustentatorio para la Elaboración de los Expedientes Técnicos y Sustento Técnico Legal de los Filtros de Tipo Doméstico y Comunal para la Remoción de Arsénico y otros Metales Pesados del Agua Potable para Consumo Humano. Página 15 y 16.

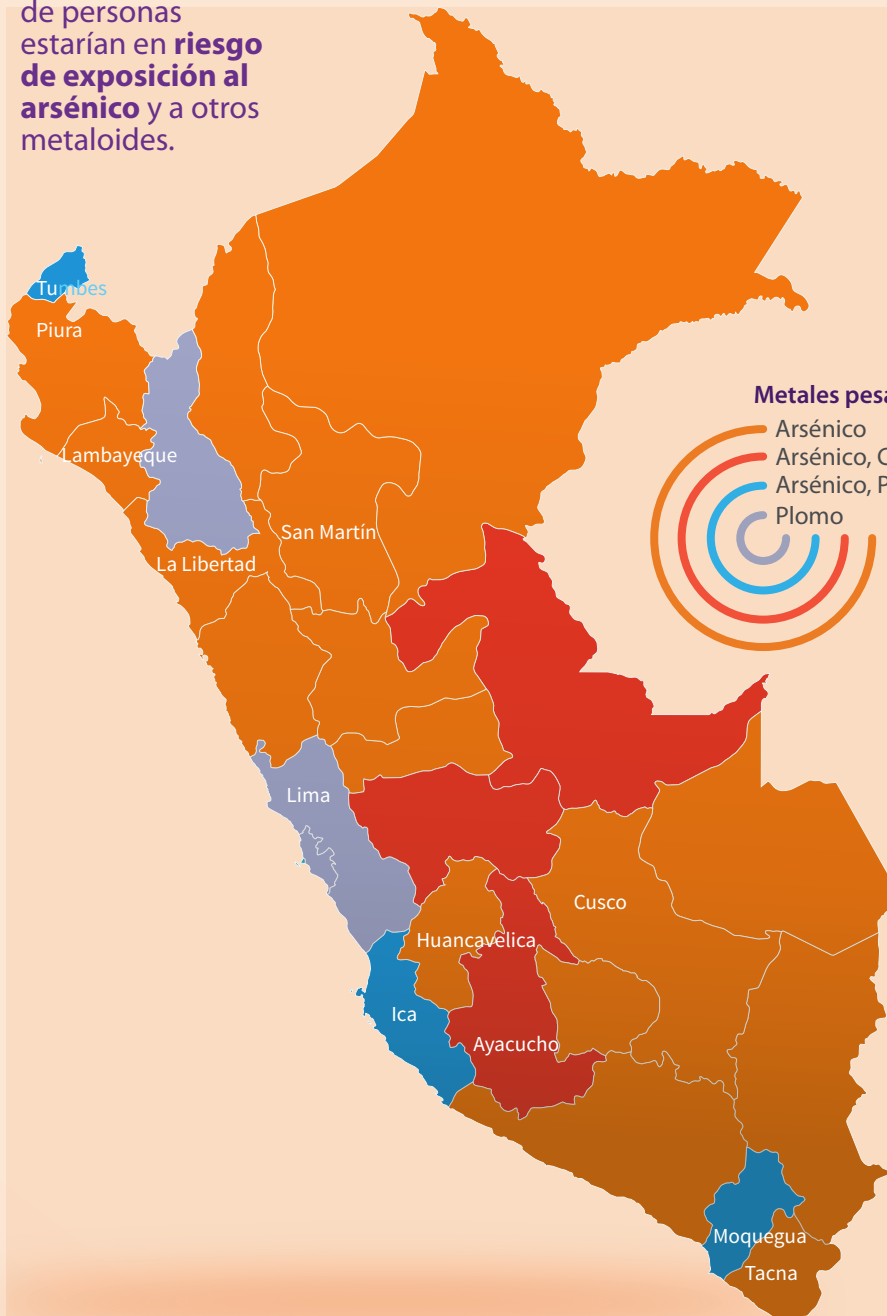
Figura 1. Regiones con suministros de agua que superan los límites máximos permisibles de metales pesados

+ **6 millones**
(20%)

de personas estarían en **riesgo de exposición al arsénico** y a otros metaloides.

22%

de los centros poblados de **12** regiones exhibieron **presencia de metales pesados** con valores superiores a los permitidos por la norma.



Solucionar el problema de contaminación del agua requiere desarrollar y validar propuestas tecnológicas.

Fuente: Ministerio de Salud. Tomado del Informe Técnico Sustentatorio (COSUDE y MVCS, 2022).

2

Proyecto piloto: validación de la tecnología de filtros para la remoción de metales pesados de agua potable

Frente a este escenario, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE identificó una tecnología innovadora, económica y escalable para la remoción de metales pesados en el agua potable. Desarrollada por BluAct Technologies GmbH, una compañía spin off de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich - ETH Zúrich, esta tecnología está compuesta por fibras de proteína de lactosa y carbón activado, y es de alta costo-eficiencia.

En diciembre del 2017, se llevó a cabo una misión exploratoria mediante la recolección de muestras de agua de diferentes fuentes (manantiales, ríos, lagos y grifos de agua) con la finalidad de medir la presencia de plomo (Cerro de Pasco) y arsénico (Lambayeque, Moquegua, Tacna); así como, evaluar los niveles de eficiencia para la remoción de ambos metales pesados en el agua potable. Los resultados fueron auspiciosos (remoción del 96.8% del contenido de arsénico y del 95.7% del contenido de plomo), por lo que COSUDE y BluAct Technologies decidieron iniciar un proyecto piloto con el objetivo de validar la eficiencia y efectividad de la tecnología implementada.

El proyecto se implementó en **dos etapas consecutivas**:



Estudio piloto

A Primera etapa (abril - diciembre 2019)

Consistió en la implementación de un **estudio piloto** para la validación de la eficiencia y efectividad del material filtrante granular para la remoción de metales pesados en el agua para consumo humano en ocho centros poblados de cuatro departamentos del país, donde se tiene referencia de presencia de metales. Se evaluó el producto en 28 viviendas y en tres servicios de abastecimiento comunitario.



Validación en sistemas comunitarios

B Segunda etapa (enero - julio 2020)

Se enfocó en la **validación y puesta en funcionamiento** del material filtrante granular en la Planta de Tratamiento de Agua Compacta del centro poblado de Yacango (240 familias), ubicado en el distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua. Siendo este, uno de los tres servicios de abastecimiento comunitario en los que se intervino en la primera etapa.

Figura 2. Metodología para la validación del material filtrante

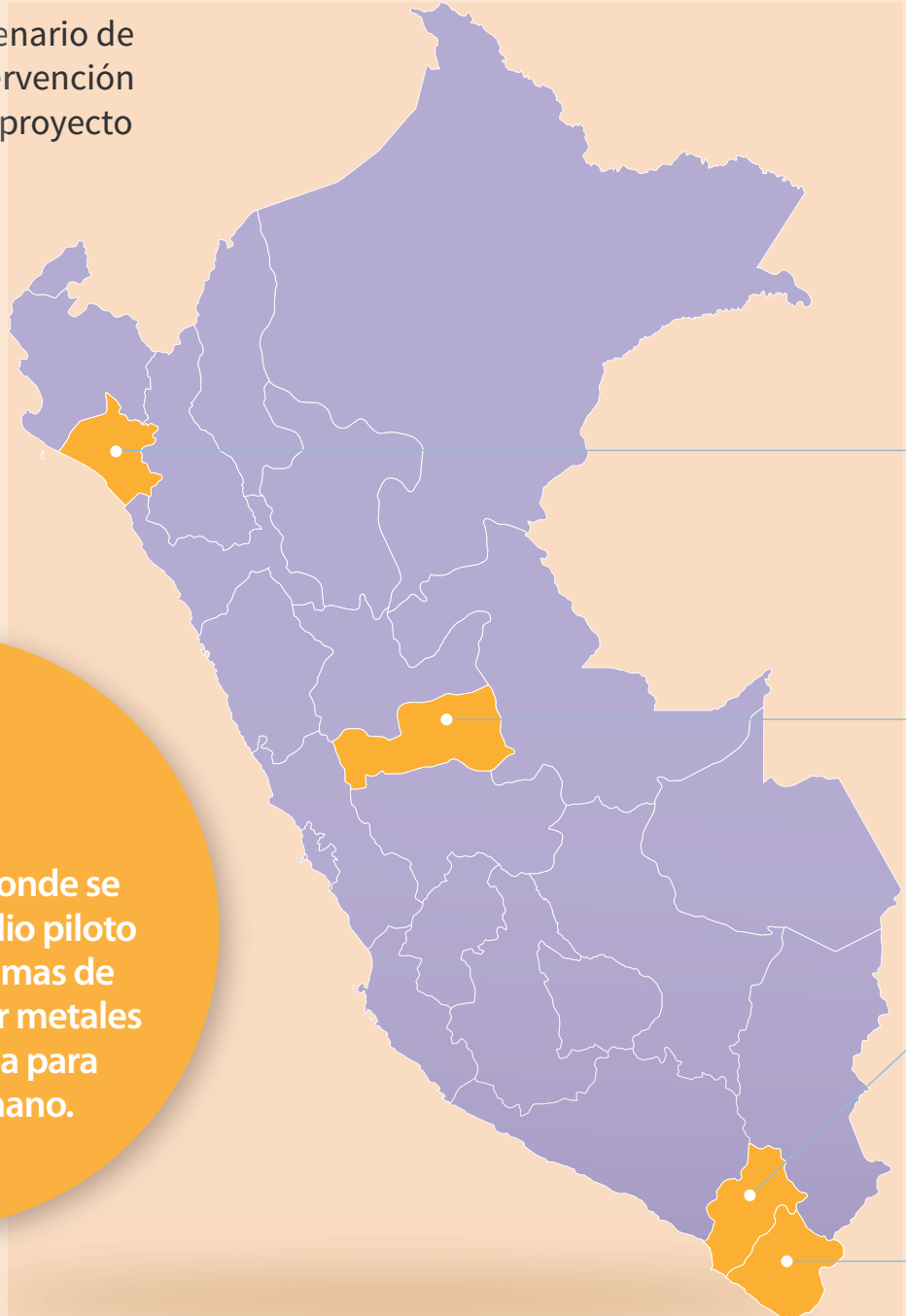


Fuente: Informe Final – Etapa I (COSUDE, 2020).

La selección de las zonas de intervención consideró los siguientes **criterios**: (i) reporte de presencia de arsénico o plomo en el agua que consume la población; preferentemente de las localidades visitadas en 2017; (ii) la existencia de un sistema de abastecimiento de agua domiciliario preferentemente en el ámbito rural; (iii) aceptación del usuario para la instalación de un prototipo de filtro domiciliario en su vivienda; (iv) compromiso de apoyo de las familias para la toma de muestras.

En general todos los sitios donde se desarrolló el piloto muestran problemas de contaminación por metales pesados en agua para consumo humano, y en varios de ellos se han decretado estado de emergencia por esta situación.

Tabla 2. Escenario de intervención del proyecto



Todos los sitios donde se desarrolló el estudio piloto muestran problemas de contaminación por metales pesados en agua para consumo humano.



En varios lugares del estudio se ha decretado estado de emergencia por la contaminación del agua.

Lambayeque

| Provincia | Distrito | Centro poblado | Sistema de abastecimiento de agua potable | Presencia de metales pesados predominante | Viviendas con filtros | Filtros colectivos |
|------------|----------|--|--|---|-----------------------|--------------------|
| Lambayeque | Mórrope | • Sectores Colorada • Laguna-Cruce • La Zenaida • El Arca | Bombeo de pozo perforado sin planta de tratamiento | Arsénico | 5 | - |

Pasco

| Provincia | Distrito | Centro poblado | Sistema de abastecimiento de agua potable | Presencia de metales pesados predominante | Viviendas con filtros | Filtros colectivos |
|----------------|---------------|----------------|--|---|-----------------------|--------------------|
| Cerro de Pasco | Simón Bolívar | • Champamarca | Bombeo de fuente superficial hasta reservorio, sin tratamiento | Plomo | 4 | - |

Moquegua

| Provincia | Distrito | Centro poblado | Sistema de abastecimiento de agua potable | Presencia de metales pesados predominante | Viviendas con filtros | Filtros colectivos |
|----------------|----------|---|---|---|-----------------------|--------------------------------|
| Mariscal Nieto | Torata | • Sector Jorge Chávez A y B, • La Banda • Yacango | Gravedad y bombeo sin tratamiento | Arsénico, plomo | - | Planta de tratamiento compacta |

Tacna

| Provincia | Distrito | Centro poblado | Sistema de abastecimiento de agua potable | Presencia de metales pesados predominante | Viviendas con filtros | Filtros colectivos |
|---------------|----------|-----------------------|---|---|-----------------------|------------------------------|
| Tacna | Tacna | • Ciudad | Gravedad con planta de tratamiento | Arsénico | 7 | Planta de tratamiento Calana |
| | Inclán | • Poquera • Inclán | Gravedad con planta de tratamiento | Arsénico | 6 | Pileta pública |
| Jorge Basadre | Ilabaya | • Ticapampa | Gravedad sin planta de tratamiento | Arsénico | 6 | - |

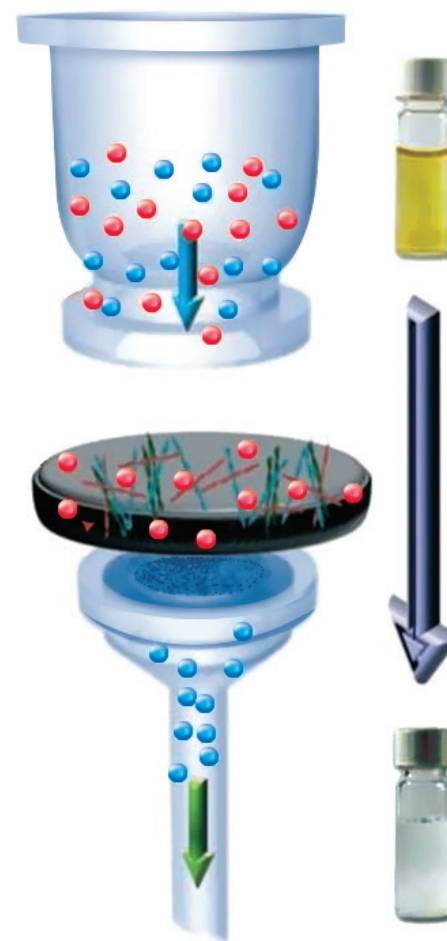
Fuente: Informes Finales – Etapas I y II (COSUDE, 2020).

3 Tecnología de filtros para la remoción de metales pesados en agua para consumo humano

La tecnología de filtros ha sido desarrollada por BluAct Technologies GmbH⁷, y consiste en membranas híbridas de amiloide y carbono poroso activado. El amiloide es generado artificialmente a partir de proteínas de la leche. Es un material biodegradable, inofensivo, de bajo costo y con capacidad excepcional para adsorber y extraer iones de metales pesados y cianuros en agua potable.

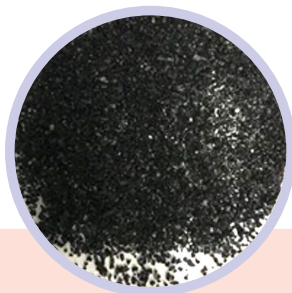
Los contaminantes tóxicos de iones metálicos “se adhieren” a los numerosos puntos de unión de aminoácidos de las fibras proteicas, cuando el agua fluye a través de la membrana. Su rendimiento responde a la capacidad de los amiloides para absorber selectivamente los contaminantes de metales pesados de las soluciones. **Durante la filtración, la concentración de iones de metales pesados se reduce significativamente** en tres a cinco órdenes de magnitud, y el proceso puede repetirse varias veces, manteniendo la eficiencia, aun cuando se filtran varios iones simultáneamente⁸.

BluAct ha desarrollado varias presentaciones de la tecnología para eliminar prácticamente cualquier tipo de contaminante del agua, contando con la certificación de gobiernos (Laboratorio Spiez del gobierno suizo y el Consejo de Investigación Científica e Industrial del gobierno indio); así como, de agencias independientes (NSF53 y TÜV Rheinland) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS). A continuación, se detallan estas presentaciones:



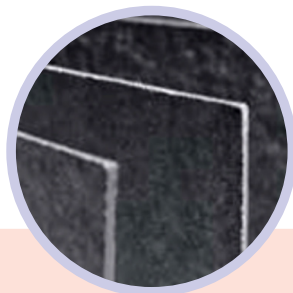
7. <https://www.bluact.com>

8. Bolisetty, S., Mezzenga, R. 2016. Membranas híbridas amiloide-carbono para la purificación universal del agua. Nature Nanotech 11, 365–371. <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.310>.



Medio granulado

Compuesto por fibrillas de proteína y carbón activado poroso que puede utilizarse para eliminar iones de metales pesados del agua. Es posible regenerar el filtro siguiendo instrucciones especiales del fabricante, actividad que debe estar a cargo de la PTAP.



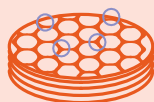
Membranas híbridas

Se basan en una mezcla de fibrillas de proteína, carbón activado y fibras de celulosa, y pueden ser utilizados en equipos de filtrado por presión. El tamaño de la malla se puede ajustar en función del contaminante (coloidal o biológico).



Cartuchos

Son una solución “todo en uno” para la filtración portátil de agua. Filtran instantáneamente múltiples contaminantes del agua del grifo, especialmente metales pesados, pesticidas y bacterias contaminantes microbiológicas.



A estas ventajas de absorción de múltiples contaminantes y alto rendimiento, se suman su adaptabilidad a cualquier carcasa de filtro ya existente, su versatilidad para el procesamiento de pequeños y grandes volúmenes de agua, el uso de materias primas sostenibles, el nulo requerimiento de energía para su funcionamiento, su escalabilidad probada y su buena capacidad de regeneración.



En todos los casos el producto debe utilizarse en un plazo máximo de 36 meses, y si bien su almacenamiento, manipulación y transporte no son peligrosos para las personas y el medio ambiente, **una vez utilizados deben tratarse como residuos industriales y seguir las disposiciones oficiales.**

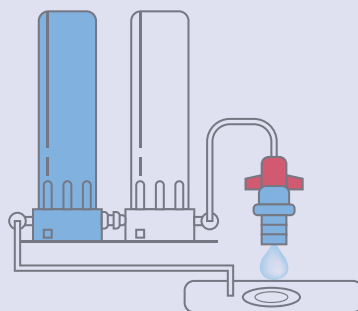
4

Desarrollo de la experiencia piloto: uso en sistemas doméstico y comunal

Para el caso del estudio piloto en Perú, la tecnología fue adaptada a un *formato tipo filtro doméstico* para el tratamiento del agua que se consume en una vivienda, y para *sistemas de tratamiento* de agua de *mayor cobertura* de atención poblacional.

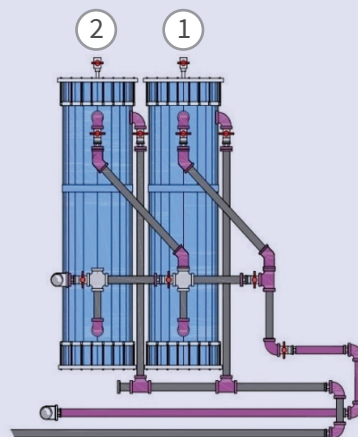
Tipo doméstico

Conformado por un porta-cartucho de plástico, un cartucho doméstico y accesorios. Se conecta la válvula de derivación (conexión T) al sistema de agua de la cocina. Eventualmente, se puede adicionar un filtro de carbón activado para controlar el sabor u olor del agua, debido a características propias del sistema de abastecimiento.



Tipo comunal

Conformado por un sistema de dos filtros en serie. El primero, con material granular híbrido y otras capas de material filtrante, capaz de remover los metales pesados del agua, y el segundo con carbón activado sobre diversas capas de arena con la función de eliminar el olor y sabor al agua, luego del proceso anterior. No necesita de energía eléctrica; pero sí de una presión de agua suficiente para realizar el proceso de filtrado. Esta opción es recomendada cuando la presencia de metales pesados sobrepasa los LMP establecidos por la norma, y como complemento de los procesos microbiológicos y/o físico químicos de tratamiento del agua realizados previamente. En el caso de Yacango (sistema compacto) se instalaron directamente en los pre-filtros, y en el caso de Inclán (tipo kiosko de agua) en la última unidad de filtración.



Se realizaron evaluaciones de calidad de agua previa a la instalación del material filtrante, cuyos resultados mostraron que el agua para consumo humano que reciben las viviendas, en todos los casos, contienen arsénico en altas proporciones y en un rango que va de tres a 70 veces más de lo permitido por la norma peruana (Tabla 3). Bajo este escenario, se pusieron a prueba las diferentes opciones de filtros, con la finalidad de evaluar sus rendimientos.

Tabla 3. Presencia de metales pesados en sistemas de agua en las zonas de Tacna y Moquegua

| Parámetro | Límite Máximo Permisible (LMP) | Poquera Tacna | Ticapampa Tacna | Jorge Chávez Moquegua |
|------------------|--------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| Arsénico (mg/lt) | 0.01 | 0.279 | 0.678 | 0.031 |
| | | 2,790% > LMP | 6,780% > LMP | 310% > LMP |
| Hierro (mg/lt) | 0.3 | 0.009 | 0.001 | 0.001 |
| | | 3% > LMP | 0% > LMP | 0% > LMP |

Fuente: Informe Final – Etapa I (COSUDE, 2020).

4.1. Filtros domiciliarios

La tecnología (filtros de membrana híbrido) se aplicó en cuatro prototipos distribuidos en 28 viviendas. Esto permitió probar distintas combinaciones de sus componentes y formas de instalación, desarrollando adaptaciones hasta alcanzar un modelo final.

TIPO I Filtro simple de membranas

Prototipo básico constituido por un filtro de presión con dos placas metálicas. Posteriormente, se incorporó una unidad de acondicionamiento de filtrado con arena para mejorar la calidad del agua y el arrastre de sólidos en las conexiones, evitando así que se colmaten las membranas.



TIPO II Filtro doble

Filtro doble consistente en un filtro previo de arena, un filtro de vaso el cual contiene un cartucho con el material filtrante en forma granular (primera filtración de arsénico). Este sistema está interconectado a un filtro de membranas como el descrito en el Tipo I (segunda filtración de arsénico).



TIPO III Filtro cerámico

Consistente en un único filtro tipo vaso, dentro del cual se encuentra un cartucho cerámico relleno del material filtrante granular.



TIPO IV Filtro híbrido

Constituido por un filtro de vaso con un cartucho híbrido, el cual contiene material granular y material de membrana compacta. Para el acondicionamiento del agua entrante, se incorporó un pre-filtro con cartucho de arena.



4.2. Sistemas colectivos

Pileta pública de agua del sector Poquera (Inclán, Tacna):

Se acondicionó el sistema (pileta pública), instalando un filtro con el material granular híbrido (carbón activado y proteína de leche, celulosa) en un tanque de 200 litros de capacidad, acondicionado con una capa de grava. Posteriormente, este prototipo fue optimizado incluyendo una batería de prefiltración, para acondicionar mejor el agua que ingresa al sistema



Sistema Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de EPS Calana (Tacna, Tacna):

Se acondicionó el sistema instalando material granular híbrido con una altura de 35 centímetros (carbón activado y la proteína de leche, 80 kilos aproximadamente), en un tanque de 600 litros de capacidad; con una capa de grava en la parte baja (15 cm) y en la zona de salida (15cm).



Planta de tratamiento compacta del sector Jorge Chávez - Sector B (Torata, Moquegua):

Está compuesta por un floculador, un decantador y filtros de arena y carbón activado. Se instaló el material granular en la última parte del tratamiento, reemplazando el carbón existente, por el nuevo material granular.



Planta de Tratamiento Compacta Yacango (Torata, Moquegua):

Se incorporó el material granular, en filtros multimedia, obviando el pre-tratamiento a través de un by pass de ingreso directo del agua desde la captación hasta las unidades de filtración. Dado los valores de turbiedad del agua de salida (menor a cinco Unidades Nefelométricas de Turbidez, recomendados por la normatividad), es necesario mejorar el tratamiento con una unidad afinadora al final del proceso.



Los gobiernos locales, a través de sus Áreas Técnicas Municipales (ATM), cumplieron un rol muy importante en la coordinación de las acciones y especialmente en la en la identificación y selección de las familias y los sistemas de abastecimiento. Se contó, además, con la participación de representantes de organizaciones sociales, funcionarios y técnicos de la Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento (DRVCS) de los gobiernos regionales, la Gerencia de Desarrollo Social de las municipalidades, los establecimientos de Salud, entre otros.

5 Resultados del estudio piloto

El objetivo del proyecto fue demostrar la eficiencia y efectividad de la tecnología (material filtrante) en la remoción de metales pesados presentes en el agua para el consumo humano. Esto implica demostrar el porcentaje en que los valores de arsénico y plomo se reducen como consecuencia de la aplicación de la tecnología y alcanzan niveles por debajo del LMP establecido por las normas nacionales (LMP = 10 ppb ó 0.01 mg/l).

5.1. De los prototipos domiciliarios

Los análisis muestran que el material filtrante contenido en los filtros domésticos remueve metales pesados del agua con una eficiencia del 78.1% para el arsénico y del 71.4% para el plomo⁹. Estos niveles se encuentran influenciados por los siguientes factores: nivel de concentración de metales pesados, turbidez del agua, flujo del agua, tiempo para el acondicionamiento del filtro, frecuencia de limpieza y/o cambio del cartucho, cuidado en la maniobrabilidad, entre los más relevantes.



Tabla 4. Eficiencia alcanzada por los filtros domiciliarios

| Fuente de los centros poblados donde se instalaron filtros domiciliarios | Concentración inicial en la PTAP | # de viviendas con filtros instalados | # de pruebas aplicadas en las viviendas | Eficiencia promedio (%) |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Eficiencia para el arsénico | | 24 | 426 | 78.1 |
| Planta Poquera | 279.0 ppb | 6 | 94 | 85.3 |
| Planta Ticapampa | 678.0 ppb | 6 | 135 | 80.3 |
| Mórrope | sin PTAP | 5 | 84 | 76.9 |
| Eficiencia para el plomo | | 4 | 35 | 71.4 |
| Cerro de Pasco - Simón Bolívar | sin PTAP | 4 | 35 | 71.4 |
| Total | | 28 | 461 | 77.5 |

Fuente: Informe Técnico Sustentatorio (COSUDE y MVCS, 2022).

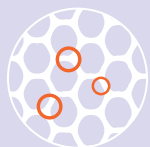


Se estimó que 20.0 ppb es el umbral que asegura que los valores de concentración de arsénico en el agua van a estar por debajo de los LMP, luego de haber sido filtrada. Cifras por encima de esta referencia exigen pretratamientos del agua cruda.

Por otro lado, los análisis de agua en las viviendas de Pasco donde se instalaron filtros mostraron valores por debajo de los LMP, y el filtro demostró una alta eficiencia de remoción de plomo en ambos prototipos instalados (78,7% y 64,4% respectivamente), logrando reducir aún más los valores iniciales.

9. La validación permitió ajustar los filtros en el proceso. La versión final del prototipo alcanza una eficiencia superior al 95% (proveído por: SABAvida).

5.2. De los prototipos instalados en sistemas colectivos



De acuerdo con los análisis de laboratorio, la tendencia general muestra un buen nivel de remoción de arsénico para los filtros colectivos: **de 61.9% a 98.9% de eficiencia promedio**¹⁰. Estos son resultados muy alentadores para pensar en una perspectiva de tratamiento centralizado, como la mejor opción de proyección de esta tecnología.

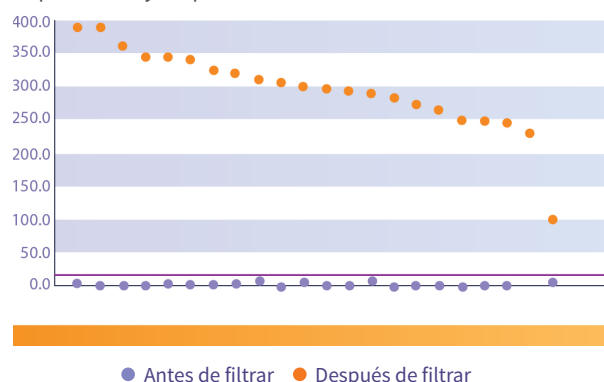
La experiencia ha mostrado la conveniencia de contar con sistemas que incluyan estructuras previas de acondicionamiento para un mejor tratamiento del agua cruda; así como, el control de la intermitencia del flujo y la velocidad de filtración (entre 3 a 5 m³/h) y de un adecuado operación y mantenimiento de las unidades de filtración donde está el material de la tecnología.

Tabla 5. Eficiencia promedio por tipo de sistema de abastecimiento colectivo de agua

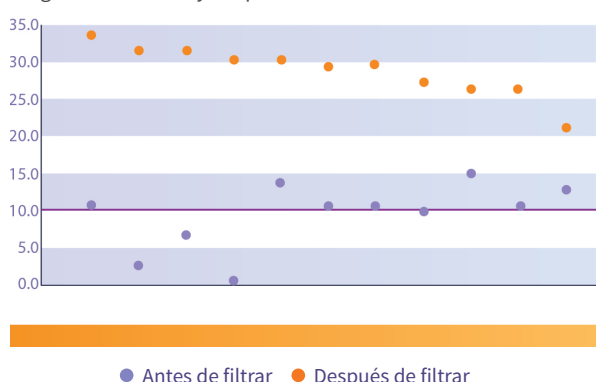
| Pilotos en sistemas de abastecimiento | Rango de concentración de Arsénico (ppb) antes del filtro | Rango de concentración de Arsénico (ppb) después del filtro | # de pruebas | Eficiencia promedio |
|---------------------------------------|---|---|--------------|---------------------|
| Pileta pública Poquera | 390.0 – 102.0 | 8.8 – 0.1 | 22 | 98.9 |
| Planta Jorge Chávez | 33.0 – 21.0 | 15.0 – 1.0 | 11 | 64.5 |

Fuente: Informe Final – Etapa II (COSUDE, 2020).

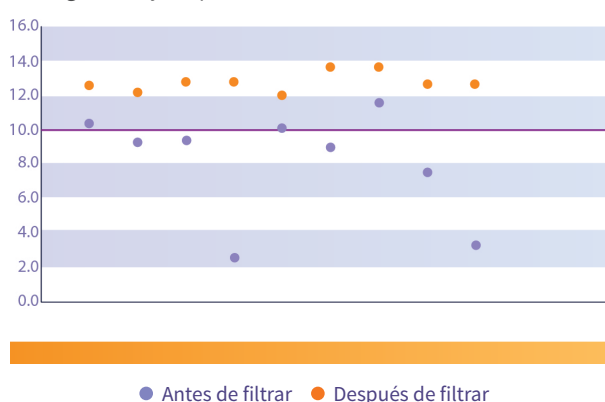
Concentración de Arsénico (ppb) en la planta de tratamiento Poquera antes y después del filtro



Concentración de Arsénico (ppb) en la planta de tratamiento Jorge Chávez antes y después del filtro



Concentración de Arsénico (ppb) en la planta de tratamiento Yacango antes y después del filtro



10. La validación permitió ajustar la calidad del material granular. La versión final del material granular ofrece una alta capacidad de regeneración (proveído por: SABAvida).

5.3. Aspectos económicos

En la tabla 6 se muestran los precios de los filtros y material filtrante (importados), siendo necesario considerar en el costo final todos los costos asociados a la importación y el transporte desde Lima hasta la vivienda o planta de tratamiento. Por otro lado, la periodicidad de reemplazo de los filtros (opción domiciliaria) y del material filtrante (opción comunal) dependerá de factores como la concentración de arsénico, la calidad del agua (turbidez), caudal y población atendida. La tecnología no requiere de energía, por lo que no es un costo para considerar.

Tabla 6. Costos de filtros y material filtrante (a su llegada al Callao / a Lima)

| Tipo de filtro | Uso | Precio |
|----------------------------|--------------|------------------------------------|
| Cartucho | Domiciliario | US\$ 30.00 (sin IGV) |
| Portacartucho y accesorios | Domiciliario | US\$ 50.00 (sin IGV) |
| Material granular | Comunal | US\$ 20.00 por kilogramo (sin IGV) |

Fuente: Informe Sustentatorio (COSUDE, SABAVida; 2022).

El estudio diseñó también un sistema comunal del tipo abastecimiento de agua por acarreo (kiosko de agua) para 150 personas, estimando que el costo de producción de agua filtrada es de S/ 1.60 (US\$ 0.42) por m³ para este tipo de sistema. **Para el caso de la PTAP de Yacango, el costo de producción de agua tratada con la tecnología se estimó en S/ 1.02 (US\$ 0.27) por m³, mientras el costo del tratamiento convencional es de S/ 3.05 / US\$ 0.80 por m³.**

5.4. Aspectos sociales

Las familias que participaron en el estudio señalaron que el agua suministrada a través de los filtros resulta de mejor calidad y confiable, por lo que **estarían dispuestos a pagar 11 soles, (US\$ 2.9) mensuales en promedio, por el servicio**, significando ello un adicional de 46.6% del pago habitual (en el momento de la encuesta pagaban 7.5 soles (US\$1.97) mensuales), a pesar de tratarse de instalaciones comunitarias y fuera de la vivienda.



En la Planta de Tratamiento de Yacango la proyección de costos de producción de agua tratada con la tecnología es de 1.02 soles (USD\$0.27) por m³, mientras que con la tecnología convencional es de 3.05 soles (USD\$0.80) por m³.



Familias que fueron consultadas por el proyecto estarían dispuestos a pagar 11 soles (USD\$2,90) mensuales en promedio por el servicio.

6 Los factores que inciden en el desarrollo de la propuesta tecnológica

Los **aspectos más relevantes** que inciden en el desarrollo de la tecnología son:

⦿ **Institucional**



La efectividad de la tecnología facilita el promover su uso en programas nacionales sectoriales (como el Programa Nacional de Saneamiento Rural), o iniciativas privadas desarrolladas bajo el mecanismo *obras por impuestos* o inversiones privadas bajo el enfoque de responsabilidad social empresarial. La tecnología se puede adaptar a los sistemas de tratamiento de agua potable existentes e incluir en el diseño de nuevos sistemas.

Los gobiernos locales, a través de las ATM, deben brindar asistencia y acompañamiento en la implementación de esta tecnología a los operadores comunales conocidos en Perú como Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) en la implementación de esta tecnología, y de ser el caso, asumir directamente la prestación del servicio de saneamiento, a través de la conformación de las Unidades de Gestión Municipal (UGM).

⦿ **Técnico**



La validación de la tecnología generó información importante sobre su eficiencia para la remoción de metales pesados, pero también, puso en evidencia aspectos externos que afectan la efectividad del material filtrante, como niveles mínimos de calidad de agua cruda antes de ingresar a una unidad de filtración.

El proceso debe incluir, de manera responsable, el manejo de las membranas filtrantes usadas, advirtiendo que son residuos peligrosos y deben ser tratados de esa manera para su disposición final.

⦿ **Social**



El reconocimiento por parte del usuario de contar con un agua de mejor calidad, permite incrementar la valoración del agua y generar condiciones adecuadas para el buen uso y conservación del sistema, y mayor disponibilidad al pago de una cuota familiar o tarifa que incorpore la tecnología. Para ello, es clave el menor costo operativo del tratamiento de agua por m³ frente a otras tecnologías utilizadas actualmente.

⦿ **Sostenibilidad**



La tecnología de remoción de metales pesados es factible de ser utilizada en el marco normativo vigente del sector saneamiento. Si bien actualmente el material filtrante es producido fuera de Perú, lo que puede generar limitaciones para su disponibilidad oportuna, existe el interés de BluAct de transferir la tecnología para su producción a nivel nacional, en la medida que la demanda se incremente. Las condiciones para ello existen, dada la dimensión del problema en el país.

7 Conclusiones

7.1. De la tecnología BluAct de material filtrante

01

Diseño

La tecnología ofrece opciones de uso para viviendas familiares y sistemas colectivos (plantas de tratamiento). En los sistemas colectivos, se destaca su versatilidad y adaptabilidad a los diversos tipos de PTAP monitoreadas.

02

Eficiencia

Los filtros domésticos muestran una eficiencia del 78.1% en la reducción de la concentración de arsénico, y en los sistemas colectivos la eficiencia mínima es de 62% y máxima de 99%. En la mayoría de los casos, los filtros redujeron la contaminación por debajo de los niveles LMP.

03

Costo-eficiencia

La tecnología es costo-eficiente. En el caso de los filtros domésticos, los costos de US\$ 30,00 a US\$ 50,00 (sin IGV) pueden ser incorporados en la cuota familiar. En el caso de los sistemas colectivos, el costo de producción de agua filtrada en la PTAP Yacango (Moquegua) es de US\$ 0,27/m³ frente a los US\$ 3.05/m³ del tratamiento convencional.

04

Factores externos

La tecnología se utiliza en la última parte del proceso de tratamiento, dependiendo su rendimiento y efectividad de factores externos como el caudal de agua, parámetros fisicoquímicos y turbidez.

05

Reuso

La tecnología en la presentación de medio granular puede regenerarse, lo que permite reutilizarlo antes de ser reemplazado, lo que aumenta su vida útil y reduce los costos de tratamiento.

06

Valoración social

Existe disponibilidad de las familias para el pago del costo de uso de los filtros domiciliarios. Las familias que adopten esta tecnología necesitan ser capacitadas, para asegurar los niveles óptimos para su manejo.

7.2. De la institucionalidad y el desarrollo tecnológico en la prestación del servicio de saneamiento

01 Contexto

Existe un marco normativo favorable para el uso de la tecnología en sistemas de abastecimiento de agua potable. BluAct está interesado en apoyar la transferencia tecnológica (producción de material a nivel local) si las condiciones para el escalamiento son favorables.

02 Disponibilidad

La tecnología está disponible para ser utilizada en proyectos de inversión pública, pública-privada (vía el mecanismo *Obras por Impuestos*) y privada (responsabilidad social corporativa), que beneficien principalmente a poblaciones rurales y rurales dispersas.

03 Capacidades locales

El fortalecimiento de capacidades es clave para facilitar el uso de la opción tecnológica por prestadores de servicios de saneamiento comunales (Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento) y municipales (Unidades de Gestión Municipal).

04 Escalamiento

El potencial de escalamiento es alto considerando que existen alrededor de 10 mil PTAP (de las 31 mil existentes en el país)¹¹ en ocho departamentos con niveles altos de arsénico en agua cruda para uso poblacional¹².

11. <https://datass.vivienda.gob.pe>, revisado el 13 de febrero del 2023.

12. María Luisa Castro de Esparza, 2016. Minimización de riesgos para la salud por metales pesados en el agua de consumo humano. Expo Agua Perú 2016.

8 Recomendaciones

01

Promover en programas nacionales existentes o iniciativas privadas el uso de esta tecnología, la cual se puede adaptar a los sistemas de tratamiento de agua potable existentes e incluirse en el diseño de nuevos sistemas en favor de las poblaciones más vulnerables.

02

Instalar y fortalecer capacidades en las Municipalidades para la operación y mantenimiento de sistemas innovadores de tratamiento de agua con metales pesados y la difusión de información sobre su desempeño. En el caso de Perú, se cuenta con la experiencia de la ONG SABAVida, responsable de realizar el piloto de validación de la tecnología.

03

El uso de esta tecnología debe **considerar acciones para reducir los factores externos que afectan su rendimiento**: caudal de agua, parámetros fisicoquímicos y turbidez.

04

En el caso del Perú, **caracterizar y cuantificar con mayor precisión la demanda**, en coordinación con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) y el Ministerio de Salud (MINSU), con el fin de diseñar estrategias de corto, mediano y largo plazo para el escalamiento nacional, abordando inicialmente zonas críticas.

05

En tanto no existan las condiciones para producir los materiales a nivel nacional (con apoyo de BluAct Technologies) se deben **establecer canales de importación eficientes para asegurar la disponibilidad de la tecnología en las etapas de operación y mantenimiento** de los sistemas que la utilizan.

ACRÓNIMOS

| | |
|--------|--|
| ATM | Área Técnica Municipal |
| COSUDE | Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación |
| DIGESA | Dirección General de Salud Ambiental |
| DRVCS | Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento |
| EPS | Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento |
| ETH | Escuela Politécnica Federal de Zúrich |
| GmbH | Sociedad de Responsabilidad Limitada (Gesellschaft mit beschränkter Haftung) |
| IGV | Impuesto General a las Ventas |
| JASS | Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento |
| LMP | Límite Máximo Permisible |
| MINSA | Ministerio de Salud |
| MVCS | Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| ONG | Organización No Gubernamental |
| PNS | Plan Nacional de Saneamiento |
| PNSR | Programa Nacional de Saneamiento Rural |
| ppb | Partes por Billón |
| PTAP | Planta de Tratamiento de Agua Potable |
| UGM | Unidad de Gestión Municipal |

Hub Regional COSUDE Lima

El Hub Regional COSUDE Lima reúne tres programas: Cambio Climático y Medio Ambiente, Agua, y Reducción del Riesgo de Desastres y Respuesta Rápida. Las actividades y proyectos del Hub Regional tienen un enfoque regional y se realizan principalmente en los países andinos.



Cambio Climático y Medio Ambiente



Agua



Reducción del Riesgo de Desastres y Respuesta Rápida



Programa Regional Reducción del Riesgo de Desastres y Respuesta Rápida

El Programa de Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y Respuesta Rápida (RR) del Hub Regional Lima se enfoca en la **gestión integrada de los riesgos relacionados con las amenazas naturales** en los países andinos Perú, Bolivia y Ecuador.

La visión del Programa Regional RRD & RR es una región andina más resiliente donde los retrocesos en el desarrollo y el sufrimiento humano a causa de los desastres se reducen gracias a una gestión del riesgo de desastres más eficaz. Tiene como objetivo el desarrollo sostenible y resiliente a nivel local, nacional y regional, utilizando un enfoque participativo para no dejar a nadie atrás.

El Programa RRD & RR trabaja en tres pilares temáticos:



Pilar 1

Fortalecimiento de la Gobernanza del Riesgo de Desastres



Pilar 2

Fortalecimiento de la preparación de los socios para la respuesta



Pilar 3

Fortalecimiento de capacidades institucionales suizas en RRD y RR en la región

El Programa RRD & RR cuenta con un instrumento único de respuesta rápida en la COSUDE denominado **Grupo de Intervención y Apoyo Rápido (GIAR)** para la región Latinoamérica y el Caribe. El GIAR tiene el mandato de coordinar las intervenciones humanitarias suizas en la región en caso de un desastre natural.