

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1502>

Identificación de fuentes de agua sin metales pesados para implementación de sistema de agua potable en Chorobamba, Cajamarca

Identification of Water Sources Free of Heavy Metals for the Implementation of a Potable Water System in Chorobamba, Cajamarca

Araceli Anne Chávez Polo

araceliannechavezpolo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6907-6244>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima -Perú

Artículo recibido: 18 julio 2025 - Aceptado para publicación: 28 agosto 2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

El acceso a agua potable continúa siendo uno de los principales desafíos en las comunidades rurales del Perú, donde la contaminación por metales pesados representa un serio riesgo para la salud pública. Este estudio tuvo como propósito identificar fuentes de agua seguras para la implementación de un sistema de abastecimiento en la Comunidad Campesina de Chorobamba, Cajamarca. La investigación, de carácter aplicado y no experimental, combinó el análisis documental con estudios de calidad de agua, así como evaluaciones geomorfológicas y topográficas. Se examinaron 21 fuentes de agua y se seleccionaron dos de ellas (FN-01 y FN-03). Mientras que FN-03 cumplió íntegramente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), FN-01 presentó ligeros excesos en hierro y manganeso. Sin embargo, su inclusión fue justificada por la cercanía a la comunidad y la baja magnitud de los excedentes. Ambas fuentes aportaron un caudal de 29,6 L/s en temporada húmeda y 21,3 L/s en temporada seca, volúmenes suficientes para garantizar el suministro local. Con base en estos hallazgos, se diseñó un sistema de conducción y bombeo optimizado que asegura la provisión continua de agua potable por un periodo estimado de 20 años. El estudio subraya la importancia de incorporar tecnologías de tratamiento de metales pesados, no solo para garantizar la calidad del agua y proteger la salud de la población, sino también para promover un manejo sostenible de los recursos hídricos en contextos rurales vulnerables.

Palabras clave: sostenibilidad del agua, salud pública, sistema de agua potable, metales pesados

ABSTRACT

Access to safe drinking water remains one of the main challenges in rural communities of Peru, where heavy metal contamination poses a serious risk to public health. This study aimed to identify safe water sources for the implementation of a supply system in the Chorobamba Peasant Community, Cajamarca. The applied, non-experimental research combined documentary analysis with water quality assessments, as well as geomorphological and topographic evaluations. A total of 21 water sources were examined, from which two (FN-01 and FN-03) were selected. Source FN-03 fully complied with Environmental Quality Standards (EQS), while FN-01 presented slight exceedances in iron and manganese. Nevertheless, its inclusion was justified due to its proximity to the community and the low magnitude of the excess levels. Together, these sources provided flows of 29.6 L/s in the wet season and 21.3 L/s in the dry season, sufficient to meet the local demand. Based on these findings, an optimized conduction and pumping system was designed, ensuring continuous potable water supply for an estimated period of 20 years. The study highlights the importance of integrating effective heavy metal treatment technologies, not only to guarantee water quality and protect public health, but also to promote sustainable management of water resources in vulnerable rural contexts.

Keywords: water sustainability, public health, potable water system, heavy metals

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable de calidad constituye uno de los principales retos globales y, de manera particular, afecta de forma crítica a las comunidades rurales y campesinas de los países en desarrollo. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), busca integrar dimensiones económicas, sociales y ambientales en la construcción de un futuro más equitativo y resiliente (Atapattu et al., 2024). Dentro de este marco, el ODS 6 plantea como meta prioritaria garantizar, para el año 2030, la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el acceso universal a servicios de saneamiento (Rajendrakumar et al., 2025). Sin embargo, la persistente contaminación de los recursos hídricos limita significativamente los avances hacia este objetivo y compromete otros vinculados al desarrollo humano y ambiental (Khoo et al., 2023).

Entre las principales causas de la degradación de la calidad del agua se encuentra la presencia de metales pesados, que convierten las fuentes hídricas en inadecuadas para el consumo humano. Diversos estudios evidencian que la minería y otras actividades industriales constituyen las fuentes dominantes de dichos contaminantes, los cuales se suman a los procesos biogeoquímicos naturales y a los cambios en los sistemas hidrológicos de los ecosistemas fluviales (Zhang et al., 2023). La acumulación de metales como cadmio, plomo, arsénico, mercurio o níquel en aguas superficiales y subterráneas genera riesgos graves para la salud humana, incluyendo daños renales, hepáticos y gastrointestinales, así como alteraciones reproductivas, retraso en el desarrollo infantil y efectos cancerígenos (Jaishankar et al., 2014; Jomova et al., 2025). Además, la intensificación de la urbanización, el uso indiscriminado de agroquímicos y la descarga de aguas residuales industriales han incrementado la carga de contaminantes metálicos en los ecosistemas acuáticos (Gomes et al., 2025).

El monitoreo de la contaminación por metales pesados se apoya en técnicas analíticas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectroscopia de absorción atómica (AAS), herramientas que permiten establecer la calidad del agua y su aptitud para el consumo humano (Kumar & Garg, 2018). No obstante, la evidencia científica demuestra que, incluso en bajas concentraciones, metales como Cr(VI), Cd(II), Pb(II), As(V/III), Hg(II), Ni(II) o Cu(II) tienden a bioacumularse en la cadena alimentaria, constituyendo una amenaza persistente para la salud y la seguridad hídrica (Singh et al., 2022; Nishmitha et al., 2025).

En el contexto peruano, este problema adquiere particular relevancia debido a la estrecha dependencia de las comunidades rurales respecto de fuentes naturales de agua. Investigaciones recientes han documentado la presencia de plomo, arsénico, cadmio, zinc y cobre en niveles que superan los límites permitidos, generando preocupación por sus efectos crónicos sobre poblaciones vulnerables, especialmente niños y mujeres gestantes (Mayta-Armas et al., 2023;

Pari, 2025). Tal es el caso de la Comunidad Campesina de Chorobamba, en la región Cajamarca, donde los habitantes dependen de un servicio de agua limitado y poco sostenible, actualmente proporcionado por la Unidad Minera Shahuindo mediante cisternas (Arana-Zegarra, 2019).

Los informes de la Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2021) han corroborado la presencia de metales pesados en fuentes hídricas cercanas a Chorobamba y a otras comunidades aledañas como Shahuindo de Araqueda, Siguis, Liclipampa Bajo, San José y Moyan Bajo, lo que ha restringido el acceso directo a agua segura. En este escenario, resulta urgente identificar fuentes hídricas que cumplan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua, capaces de sostener un sistema de abastecimiento confiable y seguro.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo seleccionar fuentes de agua libres de contaminación por metales pesados en la Comunidad Campesina de Chorobamba, Cajamarca, y evaluar sus condiciones geomorfológicas y topográficas para diseñar un sistema de agua potable sostenible. Los resultados de esta investigación buscan contribuir a la mejora de la calidad de vida de los habitantes y al fortalecimiento de la gestión hídrica local, ofreciendo evidencia científica aplicable a otros contextos rurales del Perú y de América Latina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se enmarcó dentro del enfoque aplicado, al orientarse en la utilización de conocimientos teóricos y prácticos para resolver un problema concreto: el acceso a agua segura en la Comunidad Campesina de Chorobamba (Ñaupas et al., 2018). El enfoque fue cuantitativo, con un proceso sistemático de muestreo, recolección y análisis estadístico de datos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). El diseño se definió como no experimental, ya que las variables no fueron manipuladas, sino observadas en su contexto natural.

La unidad de análisis correspondió a fuentes de agua superficial del distrito de Cachachi (Cajamarca, Perú). En total se consideraron 21 fuentes hídricas que cumplieran criterios de inclusión y exclusión, de las cuales 17 habían sido previamente identificadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). En este estudio se realizaron muestreos directos en 4 fuentes seleccionadas: un humedal cercano a Chorobamba (FN-01), el manantial La Quina (FN-02), un manantial ubicado al norte del Puente de Chuquibamba (FN-03) y la Quebrada Higuierón próxima a una unidad minera (FN-04). En cada punto se recolectaron 250 mL de agua, sumando un litro por fuente. Además, se tomaron tres muestras de suelo de 3 kg cada una en piezómetros instalados para monitorear la direccionalidad y flujo de aguas subterráneas.

El área de estudio se localiza en Chorobamba, Cajamarca (UTM 813411, 9159556), a 2350 m s. n. m., con una temperatura media anual de 20 °C y una precipitación aproximada de 700 mm.

Los datos recolectados fueron organizados en Microsoft Excel y posteriormente procesados en Minitab v16. Se realizaron análisis descriptivos (promedios, valores máximos y mínimos) y,

en la fase inferencial, se evaluó la normalidad de los datos para determinar la pertinencia de aplicar pruebas paramétricas (ANOVA) o no paramétricas (H-Kruskal Wallis).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación y cantidad de agua en las fuentes para consumo humano

Como se muestra en la Tabla 1, para este aspecto se determinó la ubicación de las fuentes de agua para consumo a través de coordenadas geográficas registradas con GPS, asimismo para determinar la cantidad de agua se evaluó el caudal de cada una de éstas, haciendo uso del correntómetro digital Global Water modelo FP11.

Tabla 1
Ubicación de las fuentes de agua

Código de Fuente	Descripción	Caudal (m ³ /s)		
		ESTE	NORTE	
FN-01*	Humedal a 800m este de la plaza de Chorobamba	814326	9160039	67,5
FN-02*	Manantial La Quina (Pie del Cerro Quina Quina)	815264	9160481	3
FN-03 *	Manantial a 260 m norte del Puente de Chuquibamba	815774	9157770	25,6
FN-04	Quebrada Higuierón a 162m oeste del muro de	811258	9158309	0,85
RPont1	contención construido por la UM Shahuindo SAC Río Ponte, antes de confluir con el río Condebamba.	821322	9158662	120
RNegr1	Río Negro, aguas arriba del puente Malcas	815325	9167785	65
RChim1	Río Chimín, aguas arriba del Puente Hubalito.	804782	9166131	2100
RChim2	Río Chimín, Puente río Chimín.	812459	9167221	2200
QLchil1	Quebrada La Chilca, aguas debajo de cerro Algamarca, margen derecha.	806452	9158939	15000
QJose1	Quebrada San José, aguas abajo del tajo.	807334	9158324	0,275
QChol1	Quebrada Choloque, aguas arriba de confluencia con quebrada Chupalla y de la poza de sedimentación.	808822	9159825	6,1
QChol2	Quebrada Choloque, naciente de la quebrada Choloque.	807549	9156627	3,1
QChol3	Quebrada Choloque, aguas abajo del tajo La Chalarina de propiedad de la Empresa Minera Shahuindo S.A.C.	808076	9157704	3,5
QLMer1	Quebrada Los Merinos, aguas debajo de la	809855	9156223	14,2
QPacal	actividad minera de la empresa Shahuindo S.A.C	812257	9157708	23

Quebrada El Pace, aguas arriba de la captación de				
la JASS El Pacae.				
QChup1	Quebrada La Chupalla, aguas debajo de pozas de cianuración.	808605	9159800	1,1
RCond2	Rio Condebamba, puente Chuquibamba.	815584	9158006	
RCond1	Rio Condebamba, aguas abajo de confluencia de rio Chimin.	813918	9168335	15000
QAraq1	Quebrada Araqueda, antes de confluir sus aguas al río Condebamba.	811919	9152944	95
QShah1	Quebrada Shahuindo de Araqueda (Guadalupe), 2Km aguas arriba de localidad Shahuindo y bocatoma canal Shahuindo.	808957	9159887	12,4
QShin1	Quebrada Shingomate, Carretera a Pauquilla, badén.	809744	9161003	90,05

Según la Tabla 2, el 80,95 % de las fuentes analizadas superó los límites establecidos para hierro, seguido de 66,67 % en aluminio y 57,14 % en arsénico. Asimismo, se detectaron concentraciones elevadas de manganeso (45,00 %), cadmio (33,33 %), plomo (28,57 %) y cobre (9,52 %). A partir de esta evaluación, se identificaron las fuentes FN-01, FN-03 y FN-04 como las más viables para la implementación del sistema de agua potable en la Comunidad Campesina de Chorobamba.

Tabla 2

Características químicas de las fuentes de agua detectadas

	Alum inio	Arsé nico	Bar io	Beril io	Bo ro	Cad mio	Cob re	Cro mo	Hie rro	Manga neso	Merc urio	Níq uel	Plo mo	Sele nio	Zin c
FN-01	0.003	0.0063	0.0315	0.0006	0.105	0.0003	0.0009	0.0003	0.3189	0.43788	0.0009	0.0006	0.0006	0.0106	0.0026
FN-02	0.003	0.0001	0.077	0.0006	0.535	0.0003	0.00165	0.0003	1.129	0.50707	0.0009	0.0006	0.0006	0.0123	0.0026
FN-03	0.003	0.0001	0.0328	0.0006	0.062	0.0003	0.00256	0.0003	0.0231	0.01131	0.0009	0.0006	0.0006	0.0084	0.0048
FN-04	0.097	0.0001	0.0614	0.0006	0.017	0.0003	0.0009	0.0003	0.1073	0.04064	0.0009	0.0006	0.0006	0.0099	0.0052
RPont1	0.034	0.0001	0.034	0.0002	0.008	0.0001	0.0003	0.0007	0.031	0.0135	0.0005	0.0002	0.0002	0.0006	0.0006

RNeg		0.006	0.07	0.00	0.0	0.00	0.01	0.00	24.1		0.000	0.01		0.00	0.04
r1	11.33	2	81	9	75	01	45	07	6	0.3883	05	34	0.13	06	5
RChi		0.039	0.01	0.00	0.0	0.00	0.84	0.00	3.76		0.000	0.00	0.00	0.00	0.06
	1.51									0.0775					
m1		1	94	02	08	175	71	07	8		05	35	12	06	3
		0.027	0.23	0.00	0.0	0.00	0.52	0.00	3.07		0.000	0.00	0.00	0.00	0.04
RChi	1.447									0.0859					
		8	9	02	15	105	99	07	02		05	3	16	06	5
m2															
QLch		0.753	0.02	0.00	0.0	0.74	26.7	0.01	100.		0.000	0.08	0.02	0.00	11.1
	34.14									9.573					
il1		6	1	39	03	02	9	01	1		05	55	28	8	9
QJos		0.233	0.08	0.00	0.0	0.00	0.01	0.00			0.000	0.00	0.07	0.00	0.05
	6.024								11.7	0.302					
e1		6	92	02	03	068	25	07			05	16	59	06	8
QCh		0.066	0.04	0.00	0.0	0.00	0.01	0.00	12.4		0.000	0.02	0.01	0.00	1.78
	2.892									7.645					
ol1		1	39	09	16	497	53	2	4		05	92	22	06	2
QCh		0.015	0.01	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	2.32		0.000	0.00	0.00	0.00	0.01
	1.049									0.031					
ol2		2	99	02	11	01	83	07	4		05	14	52	06	2
QCh		0.016	0.05	0.00	0.0	0.00	0.02	0.00	12.9		0.000	0.00	0.05	0.00	0.02

	5.953								0.1166					
ol3	75	25	03	03	01	9	07	5		05	24	97	14	7
	0.076	0.02	0.00	0.0	0.00	0.01	0.00	3.37		0.000	0.03	0.00	0.00	0.34
QLM	0.002								3.422					
7	9	06	32	328	17	07	4		05	12	09	06		
	8													
er1														
QPac	0.001	0.03	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.14		0.000	0.02	0.00	0.00	0.16
	0.177								2.404					
a1	4	26	02	3	255	27	07	2		05	51	08	06	8
QCh	0.693	0.05	0.00	0.0	0.02	0.06	0.00	151.		0.000	0.09	0.00	0.00	
	19.57								10.31					7.09
up1	3	4	75	16	879	01	37	1		05	97	84	24	
RCo	0.020	0.08	0.00	0.0	0.00	0.04	0.00	17.0		0.000	0.01	0.01	0.00	0.00
	7.416								0.805					
nd2	7	57	09	34	076	78	27	9		05	91	26	04	06
RCo	0.027	0.04	0.00	0.0	0.00	0.38	0.00	8.46		0.000	0.00	0.00	0.00	0.05
	4.003								0.227					
nd1	1	29	04	25	088	93	07	2		05	78	59	06	9
QAra	0.002	0.04	0.00	0.0	0.00	0.01	0.01	10.7		0.000	0.00	0.00	0.00	0.02
	5.586								0.1739					
q1	5	68	05	29	6	31	77	1		05	96	6	06	9
QSha		0.03	0.01	0.0	0.00	0.01	0.00	19.5		0.000	0.04	0.00	0.00	
	3.539	0.085							8.272					2.08
h1		91	5	17	753	88	21	4		05	65	64	16	
QShi	0.157	0.04	0.00	0.0	0.10	3.74	0.00	8.46		0.000	0.02	0.00	0.00	1.79
	4.324								2.773					
n1	1	61	06	21	51	3	16	9		05	03	69	2	3

Nota. Los valores sombreados de rojo muestran que ha sobrepasado el ECA. Monitoreo ambiente

Monitoreo de las fuentes seleccionadas

El monitoreo en temporada seca evidenció que la fuente FN-04 no presentó caudal, por lo que fue descartada del estudio (Tabla 3). En contraste, FN-01 y FN-03 mantuvieron caudales variables: durante la temporada húmeda (octubre 2022) registraron 4,0 L/s y 25,6 L/s, respectivamente, mientras que en la temporada seca (julio 2024) se redujeron a 1,6 L/s y 19,7 L/s, reflejando una marcada estacionalidad.

La caracterización físicoquímica (Tabla 4) mostró valores de turbidez bajos (6,0 NTU en FN-01 y 1,5 NTU en FN-03) y pH neutro (~7,5). En FN-03 se registraron niveles muy bajos o indetectables de metales pesados, mientras que en FN-01 se observaron excedencias en arsénico, hierro y manganeso. No obstante, su caudal reducido permitiría que, al mezclarse con FN-03, dichas concentraciones se atenúen. Por esta razón, FN-01 se considera solo como fuente alternativa ante posibles situaciones de escasez.

Estos resultados confirman que FN-03 constituye la fuente principal para el sistema de abastecimiento, aunque la disminución estacional del caudal señala la necesidad de estrategias de manejo y conservación para asegurar la disponibilidad anual del recurso.

Tabla 3
Caudal de las fuentes FN-01, FN-03 y FN-04

	Temporada húmeda		Temporada seca
	(oct-2022)	(jul-2024)	
	caudal	caudal	unidad
FN-01	4	1.6	L s ⁻¹
FN-03	25,6	19.7	L s ⁻¹
FN-04	0,85	No hay agua	L s⁻¹ (descartado)
Total	29,6	21.3	L s ⁻¹

Nota. Monitoreo ambiental

La Tabla 4 muestra las fuentes con los metales que sobrepasan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el consumo humano en Perú, tanto en la muestra FN-01 como en FN-03:

Tabla 4
Caracterización de fuentes de agua seleccionadas

Parámetro	ECA (mg/L)	Resultado FN-01 (mg/L)	Resultado FN-03 (mg/L)
Arsénico Total	0.0100	0.09343	0.00116
Hierro Total	0.3000	1.67630	0.18280
Manganeso Total	0.4000	0.91580	0.01383
Mercurio	0.001	<0.00009	<0.00009
Cadmio	0.003	<0.00003	<0.00003
Plomo	0.01	<0.0006	0.0009

Nota. Monitoreo ambiental

Origen de flujo y direccionalidad

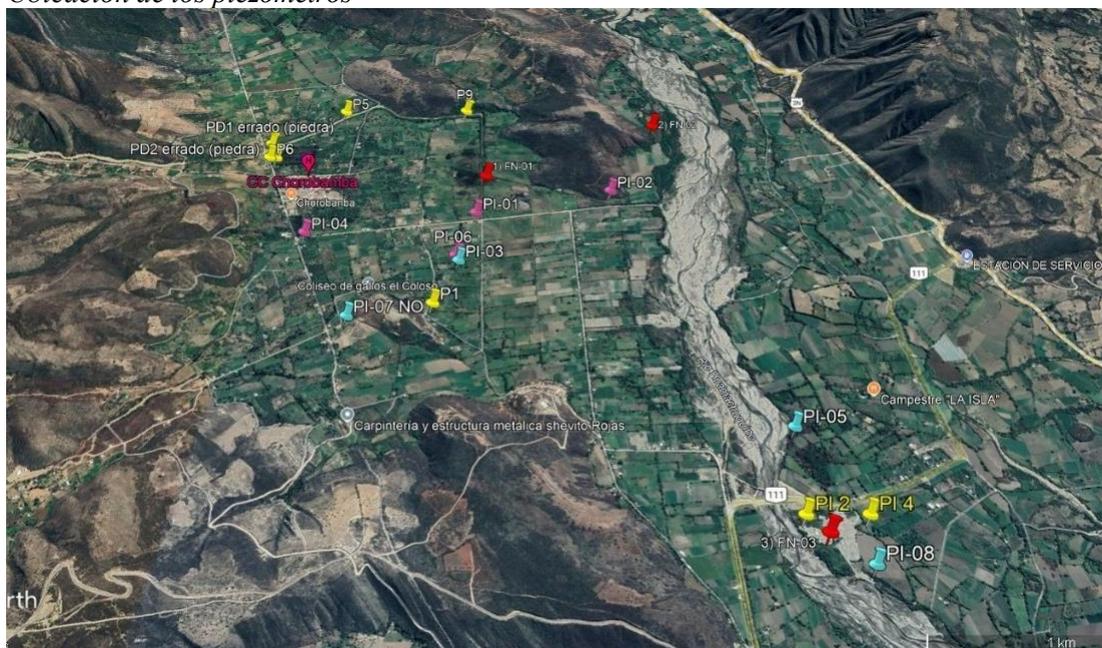
En la Tabla 5, se muestra características de cada fuente seleccionada.

Tabla 5
Origen de las fuentes de agua

Fuente	Descripción	Registro fotográfico
FN-01	Se observa agua existente en el humedal ubicado a más de 800 m este de la plaza de Chorobamba, en la coordenada geográfica E 814243 y N 9160121. Asimismo, existe flujos de agua que llegan hacia el humedal y alrededores desde el lado este.	
FN-03	El agua del manantial de la ISLA 03 nace a 270 m norte del Puente de Chuquibamba, en la coordenada: E 815789, N 9157763	

Nota. Monitoreo ambiental

Figura 1
Ubicación de los piezómetros



Nota. Elaboración propia (2025)

En la Figura 1 se presenta la ubicación de los piezómetros instalados cerca de las fuentes FN-01, FN-02 y FN-03, los cuales fueron monitoreados en varias fechas para determinar la profundidad del nivel freático en la zona de estudio. Según los datos recopilados en la Tabla 6, se observa que el piezómetro PI-04 registró la mayor profundidad de agua, alcanzando hasta 2.20 metros en diferentes monitoreos, mientras que el piezómetro PI-06 presentó el nivel freático

más superficial, con valores mínimos de 0.10 metros. En otros puntos, como PI-01, PI-02 y PI-08, también se registraron niveles variables de profundidad de agua con presencia confirmada en la mayoría de las fechas, aunque en algunos casos no se pudo completar la medición (NC). Esta información indica que el agua subterránea en el área de estudio se encuentra generalmente cerca de la superficie en varios sectores, lo que es fundamental para el análisis hidrogeológico y para la planificación del uso y manejo sostenible del recurso hídrico.

Tabla 6
Identificación de profundidad del agua

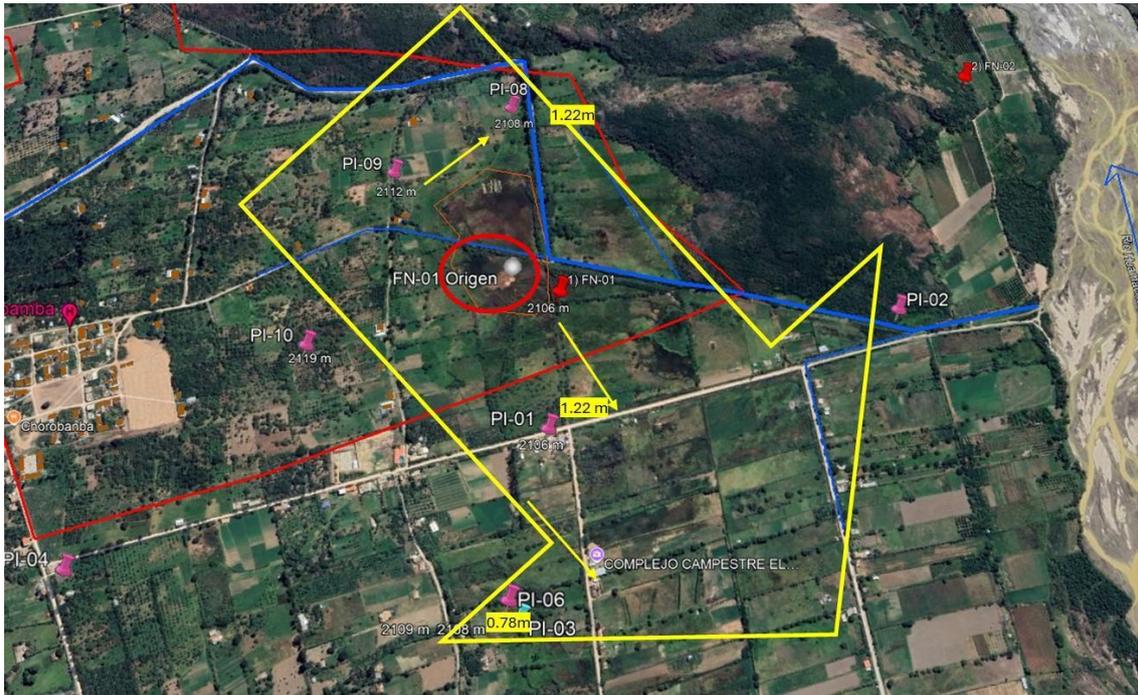
Código de Piezómetro	FECHA DE MONITOREO														Muestra de suelo
	31/10/20 22		20/11/20 22		31/07/20 24		1/08/20 24		11/08/20 24		8/09/20 24		5/10/20 24		
	PE (m)	E A	PE (m)	E A	PE (m)	E A	PE (m)	E A	PE (m)	E A	PE (m)	E A	PE (m)	E A	
PI-01	0,9	SI	NC		1,22	SI	NC		1	SI	1,1	SI	0,6	SI	SPFN1-01
PI-02	NC		2,09	NO	2,2	NO	NC		2,2	NO	2,2	NO	1,5	NO	SPFN1-02
PI-03	NC		1,3	SI	NC		NC		NC		NC		NC		SPFN1-03
PI-04	2.2	NC	NC		2.2	NO	NC		2.15	NO	2.1	NO	0,95	NO	
PI-05	1,2	SI	NC		NC		NC		NC		NC		NC		
PI-06	0,1	SI	NC		0,78	SI	NC		0,65	SI	0,54	SI	0,26	SI	-
PI-08	NC		NC		NC		1,22	SI	1,15	SI	1,12	SI	0,95	SI	-
PI-09	NC		NC		NC		1,1	NO	1,1	NO	1,1	NO	0,9	NO	-
PI-10	NC		NC		NC		2,1	NO	2,1	NO	NC		NC		-
PI-11	NC		NC		1,1	SI	NC		1,05	SI	0,99	SI	0,98	NO	-
PI-12	NC		NC		0,9	SI	NC		0,85	SI	0,74	SI	0,65	SI	-
PI-13	NC		NC		0,17	SI	NC		0	SI	0,17	SI	NC		-

Nota. NC indica que no se ha podido completar las mediciones. PE: profundidad, EA: encuentro agua.

En la Figura 2 en referencia a la fuente FN-01 (círculo rojo), se muestra la dirección de flujo al suroeste, que nos da un indicio que para conducir agua a la comunidad de Chorobamba se requiere un sistema de bombeo. Por otro lado, en relación con la fuente FN-03 (Figura 3) la dirección es al norte, inclinándose al noroeste, lo que podría favorecer su conducción con la pendiente.

Figura 2

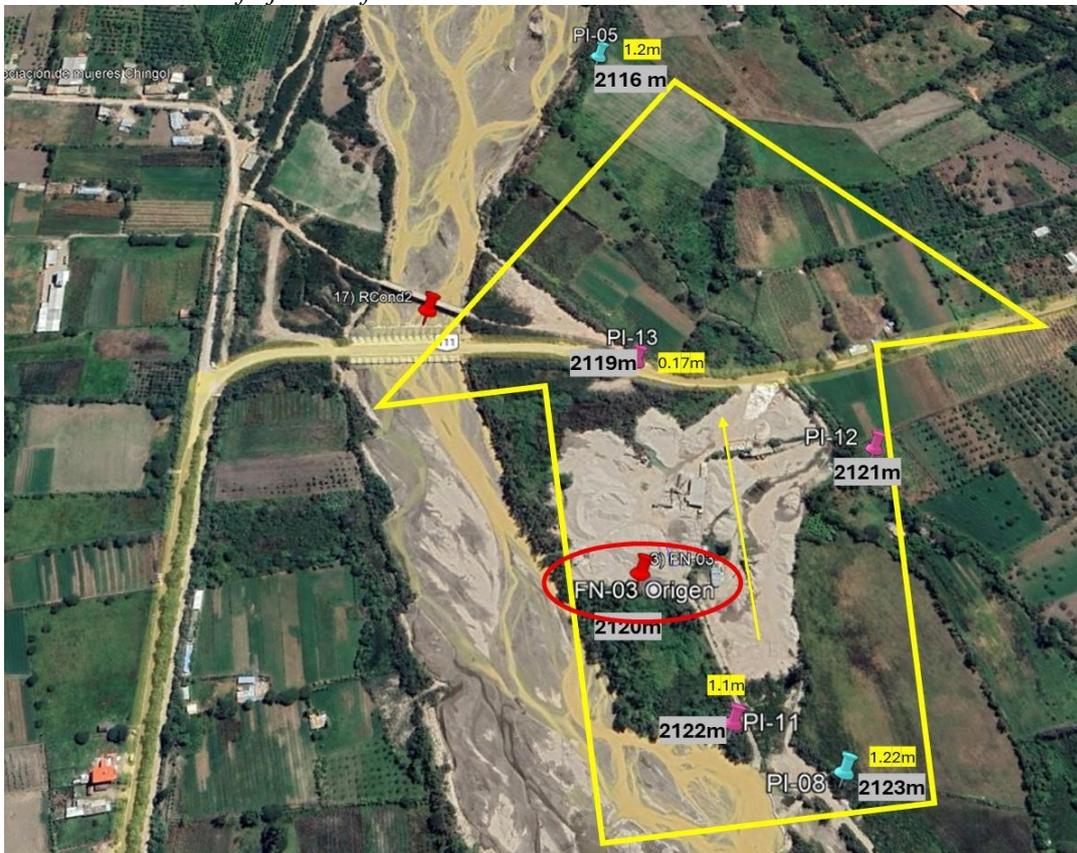
Direccionalidad de flujo de la fuente FN-01



Nota. Obtenido de Google Earth (2025)

Figura 3

Direccionalidad de flujo de la fuente FN-03



Nota. Obtenido de Google Earth (2025)

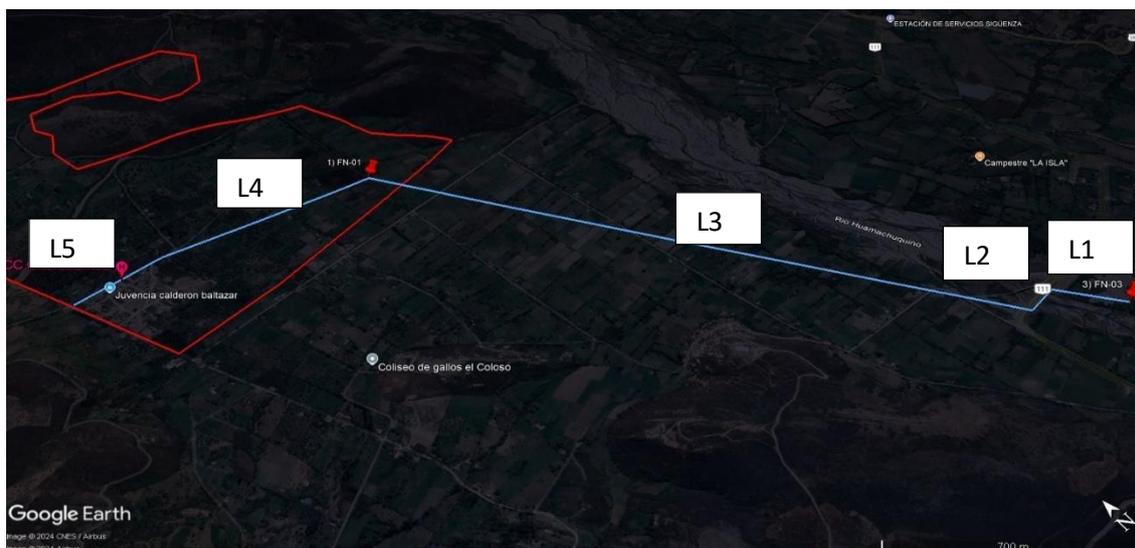
Propuesta del sistema de agua potable

El sistema de agua potable propuesto para la Comunidad Campesina de Chorobamba se diseñó con una vida útil de 20 años, conforme a la Norma Técnica Peruana RM 192-2018. Considerando 150 habitantes, estimada con una tasa de crecimiento nula debido a la disminución poblacional registrada entre 2007 y 2017 en el distrito de Cachachi, similar a Chorobamba. La densidad poblacional estimada es de 1.16 habitantes por vivienda, característica común de las zonas rurales. Se ha establecido una dotación diaria de 100 litros por habitante, distribuidos en 50 litros para consumo domiciliario, 30 litros para piletas públicas y 20 litros para instituciones educativas. Esta distribución asegura el abastecimiento adecuado tanto para uso doméstico como para servicios comunitarios esenciales.

El caudal promedio estimado es de 0.174 l/s (0.000174 m³/s). Para garantizar la capacidad del sistema durante periodos de alta demanda, se calculan los caudales máximos diario y horario en 0.00023 m³/s y 0.00035 m³/s, respectivamente. Estos valores son cruciales para el dimensionamiento adecuado de las tuberías y equipos del sistema. El dimensionamiento de este sistema de agua potable está diseñado para ser eficiente y sostenible, optimizando el uso de recursos y asegurando el suministro constante de agua potable para la comunidad. La línea de conducción de agua será compuesta por L01, L02, L03, L04, L05. Línea L01, con una elevación de -1.71 m debido a la pendiente del terreno y una longitud de 245 m, que permite el flujo natural del agua sin bombeo; Línea L02, con una elevación de -1.53 m, que incluye un cruce por el puente, con una longitud de 140 m, facilitando el paso del agua hacia las siguientes etapas del sistema; Línea L03, con una elevación de -16.2 m y una longitud de 2381 m, que aprovecha la pendiente natural del terreno, aunque el tramo extenso requiere control adecuado del flujo para mantener la eficiencia; Línea L04, que tiene una elevación de 27 m, donde se incorpora un sistema de bombeo para superar esta altura y asegurar el flujo del agua, con una longitud de 797 m; y finalmente, Línea L05, con una elevación total de 13.5, que también requiere un sistema de bombeo para garantizar el suministro, con una longitud de 331 m. Las líneas L04 y L05 son críticas, ya que requieren bombeo para superar las elevaciones (27 m + 13.5 m), asegurando que el agua llegue con la presión adecuada al punto de distribución.

Figura 4

Mapa de conducción de agua de la fuente FN-03, pasando por fuente FN-01



Nota. Obtenido de Google Earth (2025)

En ese sentido, en el diseño hidráulico, se determinó que la bomba debe superar una altura total de bombeo de 56 m, altura geodésica de 40.5 y pérdida de carga total de 15.8. La potencia hidráulica necesaria es de 195.35 W, y tomando en cuenta una eficiencia del sistema del 60%, la potencia eléctrica requerida es de aproximadamente 370 W (0.5 HP). Una bomba de 0.5 HP es adecuada para garantizar el flujo y presión necesarios.

DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como propósito identificar fuentes de agua libres de contaminación por metales pesados para la implementación de un sistema de agua potable en la Comunidad Campesina de Chorobamba. De las 21 fuentes analizadas, únicamente FN-03 y FN-04 cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), mientras que FN-01, aunque presentó ligeros excesos de hierro y manganeso, fue considerada viable por su proximidad y bajo nivel de superación en comparación con otras fuentes. Sin embargo, el monitoreo estacional mostró que FN-04 carecía de caudal en la temporada seca, quedando como principales opciones FN-01 y FN-03, con un caudal conjunto de 21,3 L/s, suficiente para abastecer a la comunidad.

El diseño de un sistema de conducción y bombeo optimizado resultó técnicamente adecuado, con una potencia estimada de 169,6 W y una eficiencia del 60 %, en concordancia con investigaciones previas que destacan la importancia de seleccionar cuidadosamente las fuentes y dimensionar correctamente los sistemas hidráulicos (Castillo, 2021; Ruiz et al., 2020). Además de garantizar un suministro constante, esta propuesta representa una medida de protección de la salud pública al reducir la exposición a metales pesados, cuya toxicidad está ampliamente documentada (Babuji et al., 2023; Ejiohuo et al., 2025).

El hallazgo de que el 85,71 % de las fuentes exceden los límites permitidos de metales pesados coincide con lo reportado por Mestanza (2021), quien identificó problemáticas similares

en plantas de tratamiento de agua en el Perú. Del mismo modo, estudios internacionales enfatizan la necesidad de un control más riguroso sobre contaminantes como plomo y arsénico, dada su persistencia y bioacumulación (Dey et al., 2021). En este sentido, resulta prioritario implementar tecnologías de purificación eficientes que permitan aprovechar de forma segura fuentes actualmente no aptas.

Otro aspecto relevante fue la variabilidad estacional de los caudales. FN-01 y FN-03 mantuvieron un suministro suficiente incluso en época seca, aunque con disminuciones significativas respecto a la temporada húmeda. Esta fluctuación coincide con investigaciones que resaltan la importancia de considerar la estacionalidad en el diseño de sistemas de abastecimiento rural (Tenorio-Fernandez et al., 2019; Twisa & Buchroithner, 2019). Tal como plantean Luo et al. (2021), la infraestructura hídrica en zonas rurales debe dimensionarse con base en la variabilidad de los caudales para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, los análisis realizados con piezómetros confirmaron la existencia de flujos subterráneos en FN-01 y FN-03, coherentes con la geología local. Este hallazgo es consistente con lo descrito por Sojka y Jaskuła (2022), quienes destacan que los sistemas hídricos rurales suelen presentar interacciones complejas entre aguas superficiales y subterráneas. Comprender esta hidrodinámica, como sugieren Xie y Ren (2022), es fundamental para optimizar la captación y reducir riesgos de contaminación, fortaleciendo así la seguridad hídrica de la comunidad.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que las fuentes FN-03 y FN-01 constituyen las alternativas más viables para la implementación de un sistema de agua potable en la Comunidad Campesina de Chorobamba. Si bien FN-01 presenta concentraciones elevadas de hierro y manganeso, estas fueron consideradas aceptables como fuente complementaria debido a su cercanía y a la magnitud reducida de los excesos.

En conjunto, las fuentes seleccionadas aportan un caudal suficiente —29,6 L/s en temporada húmeda y 21,3 L/s en temporada seca— para cubrir las necesidades de la población. El diseño propuesto de conducción y bombeo optimizado garantiza un abastecimiento continuo y eficiente durante los próximos 20 años, reforzando la sostenibilidad del sistema.

Asimismo, el hallazgo de que la mayoría de las fuentes superan los límites de metales pesados establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) subraya la urgencia de implementar tecnologías de tratamiento efectivas. Esto no solo es clave para garantizar la calidad del recurso hídrico, sino también para proteger la salud pública y promover un manejo responsable de las fuentes de agua en contextos rurales.

REFERENCIAS

- Arana-Zegarra, M. (2019). El caso de derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1).
- Atapattu, A. J., Ranasinghe, C. S., Nuwarapaksha, T. D., Udumann, S. S., & Dissanayaka, N. S. (2024). *Sustainable Agriculture and Sustainable Development Goals (SDGs)* (pp. 1–27). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4864-2.ch001>
- Babuji, P., Thirumalaisamy, S., Duraisamy, K., & Periyasamy, G. (2023). Human Health Risks due to Exposure to Water Pollution: A Review. *Water*, 15(14), 2532. <https://doi.org/10.3390/w15142532>
- Castillo, S. (2021). *Determinación de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas, en la zona baja de la provincia, El Oro*. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16202/Castillo_hs.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dey, M., Akter, A., Islam, S., Chandra Dey, S., Choudhury, T. R., Fatema, K. J., & Begum, B. A. (2021). Assessment of contamination level, pollution risk and source apportionment of heavy metals in the Halda River water, Bangladesh. *Heliyon*, 7(12), e08625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08625>
- Ejiouho, O., Onyeaka, H., Akinsemolu, A., Nwabor, O. F., Siyanbola, K. F., Tamasiga, P., & Al-Sharify, Z. T. (2025). Ensuring water purity: Mitigating environmental risks and safeguarding human health. *Water Biology and Security*, 4(2), 100341. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100341>
- Gomes, M., Ralph, T. J., Humphries, M. S., Graves, B. P., Kobayashi, T., & Gore, D. B. (2025). Waterborne contaminants in high intensity agriculture and plant production: A review of on-site and downstream impacts. *Science of The Total Environment*, 958, 178084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178084>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99(1), 153–209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>
- Khoo, P. S., Ilyas, R. A., Uda, M. N. A., Hassan, S. A., Nordin, A. H., Norfarhana, A. S., Ab Hamid, N. H., Rani, M. S. A., Abrial, H., Norrahim, M. N. F., Knight, V. F., Lee, C. L., & Rafiqah, S. A. (2023). Starch-Based Polymer Materials as Advanced Adsorbents for

- Sustainable Water Treatment: Current Status, Challenges, and Future Perspectives. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym15143114>
- Kumar, U., & Garg, A. P. (2018). Bisorption of heavy metals oxides by heavy metals Resis-Tant microorganism in liquid Culture-ICP-MS Technique. *Progressive Agriculture*, 18(1), 66. <https://doi.org/10.5958/0976-4615.2018.00011.X>
- Luo, P., Xu, C., Kang, S., Huo, A., Lyu, J., Zhou, M., & Nover, D. (2021). Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Science and Technology*, 84(10–11), 3072–3090. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.335>
- Mayta-Armas, A., Canchanya-Huaman, Y., Ramos-guivar, J. A., Pomalaya-Velasco, J., Bendezú- Roca, Y., & Checca-Huaman, N. (2023). *Enhanced Removal of As (V) and Pb (II) from Drinking and Irrigating Water Effluents Using Hydrothermally Synthesized. V.*
- Mestanza, Y. G. (2021). *Estudio de la concentración de metales en plantas de tratamiento de agua potable y sus implicaciones para la salud en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad Privada del Norte]. <https://shorturl.at/YxgQD>
- Ñaupas, H., Valdivia, R. M., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. In *Ediciones de la U* (5th ed.). Ediciones de la U.
- Nishmitha, P. S., Akhilghosh, K. A., Aiswriya, V. P., Ramesh, A., Muthuchamy, M., & Muthukumar, A. (2025). Understanding emerging contaminants in water and wastewater: A comprehensive review on detection, impacts, and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100755>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2021). *Evaluaciones Ambientales Tempranas (EAT) en el sector energía y minas (2017-2019)*. <https://www.gob.pe/oeфа>
- Pari Quispe, D. (2025). Contenido de metales pesados en los peces en el Perú: una revisión sistémica. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 131. <https://doi.org/10.53287/ejdm7553mt10z>
- Rajendrakumar, S., Mavhaire, D., Shimly, S., Rahut, D. B., Tharanidevi, N., Ramachandran, V. S., & Timilsina, R. R. (2025). Drivers and barriers towards achieving SDG 6 on clean water and sanitation for all - an Indian perspective. *World Development Sustainability*, 7, 100228. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2025.100228>
- Ruiz, C., Moscoso, R., Cruz, R., & Pilco, A. (2020). Propuesta de solución a sistemas de tratamiento de aguas en la región sierra ecuatoriana, caso de estudio. *Espacios*, 41(38). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p18.pdf>
- Singh, V., Singh, N., Verma, M., Kamal, R., Tiwari, R., Sanjay Chivate, M., Rai, S. N., Kumar, A., Singh, A., Singh, M. P., Vamanu, E., & Mishra, V. (2022). Hexavalent-Chromium-

- Induced Oxidative Stress and the Protective Role of Antioxidants against Cellular Toxicity. *Antioxidants*, 11(12), 2375. <https://doi.org/10.3390/antiox11122375>
- Sojka, M., & Jaskuła, J. (2022). Heavy Metals in River Sediments: Contamination, Toxicity, and Source Identification—A Case Study from Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10502. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710502>
- Tenorio-Fernandez, L., Zavala-Hidalgo, J., & Olvera-Prado, E. R. (2019). Seasonal variations of river and tidal flow interactions in a tropical estuarine system. *Continental Shelf Research*, 188, 103965. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103965>
- Twisa, S., & Buchroithner, M. F. (2019). Seasonal and Annual Rainfall Variability and Their Impact on Rural Water Supply Services in the Wami River Basin, Tanzania. *Water*, 11(10), 2055. <https://doi.org/10.3390/w11102055>
- Xie, Q., & Ren, B. (2022). Pollution and risk assessment of heavy metals in rivers in the antimony capital of Xikuangshan. *Scientific Reports*, 12(1), 14393. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18584-z>
- Zhang, P., Yang, M., Lan, J., Huang, Y., Zhang, J., Huang, S., Yang, Y., & Ru, J. (2023). Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation. *Toxics*, 11(10), 828. <https://doi.org/10.3390/toxics11100828>