

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Tratamiento del aguas subterráneas en una comunidad de la
selva peruana Caynarachi, Lamas, San Martin, 2021**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Lila Rocío Shupingahua Shupingahua
Patty Flores Chuquilin

Asesora:

Mg. Betsabeth Padilla Macedo

Tarapoto, diciembre del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Mg. Betsabeth Padilla Macedo, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Tratamiento del aguas subterráneas en una comunidad de la selva peruana Caynarachi, Lamas, San Martin, 2021”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) (Patty Flores Chuquilin y Lila Rocío Shupingahua Shupingahua) para obtener el título de Profesional de Ingeniería ambiental cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto., a los 14 días del mes de Diciembre del año 2022



Mg. Betsabeth Padilla Macedo

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 14 día(s) del mes de diciembre del año 2022, siendo las 15:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Ing. Ericka Nayda Perales Domínguez, el (la) secretario(a): Mtro. Jhon Patrick Rios Bartra y los demás miembros: Ing. Juana Elizabeth Vásquez Vásquez

y el (la) asesor(a) Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Tratamiento del agua subterránea en una comunidad de la selva peruana Caynarachi, Lamas, San Martín, 2021.

del(los) bachiller/es: a) Lila Rocio Shupingahua Shupingahua

b) Patty Flores Chuquilin

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Lila Rocio Shupingahua Shupingahua

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller -(b): Patty Flores Chuquilin

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno


Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia del sistema de aireación para el tratamiento del agua subterránea. La investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental; donde la variable de estudio fue manipulada durante el desarrollo de la investigación. Se diseñó el sistema de aireación, considerando 3 bandejas de filtración y 1 de recolección, en cada bandeja se utilizó carbón activado de coco. Se realizó pre prueba y post prueba, con tres repeticiones para los parámetros fisicoquímicos. Se aplicó una prueba T para muestras relacionadas. Los resultados fueron comparados con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS 031-2010 SA. El valor promedio para pH, Hierro no cumplió con los que indica la norma. Se aplicó la prueba t para muestras relacionadas. Los resultados mostraron que la torre de aireación vertical puede eliminar de manera efectiva los iones de hierro del agua subterránea, identificando una variación estadísticamente significativa entre pre prueba y post prueba para el caso del pH, turbiedad y OD, mientras que para la dureza se logró reducir la concentración, aunque no a un nivel significativo.

Palabras clave: calidad de agua, tratamiento de agua, pH, carbón activado, lecho de contacto, torre de aireación

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the efficiency of the aeration system for the treatment of groundwater. The research has a quantitative approach, with an experimental design; where the study variable was manipulated during the development of the investigation. The aeration system was designed, considering 3 filtration trays and 1 collection tray, activated coconut carbon was used in each tray. Pre-test and post-test were carried out, with three repetitions for the physicochemical parameters. A t-test for related samples was applied. The results were compared with the Regulation of the Quality of Water for Human Consumption DS 031-2010 SA. The average value for pH, Iron did not comply with those indicated by the standard. The t test for related samples was applied. The results showed that the vertical aeration tower can effectively remove iron ions from groundwater, identifying a statistically significant variation between pre-test and post-test for pH, turbidity and DO, while for hardness it was achieved. reduce the concentration although not to a significant level.

Keywords: water quality, water treatment, pH, activated carbon, contact bed, aeration tower, activated carbon filter

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda por satisfacer la necesidad de suministro de agua, incluso por encima de su disponibilidad, genera que esta en algunos casos sea consumida aun sin garantizar su inocuidad (Chávez-Jiménez and González-Zeas 2015).

Para evaluar la calidad del agua de consumo se han establecido regulaciones normativas, debido a que la presencia de contaminantes físico, químicos y microbiológicos que ponen en riesgo la salud de los consumidores (Rodríguez et al. 2017).

Se dice que el agua es apta para el consumo cuando no existe presencia de sustancias contaminantes que puede generar afectaciones a la salud (Gómez et al. 2016). Sin embargo, de acuerdo a la información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 3 de cada 10 personas no gozan de acceso a servicios de agua potable (Organización de las Naciones Unidas 2020). En Latinoamérica, la presencia de enfermedades diarreicas es un problema de salud pública (Piguave-Reyes et al. 2019).

Disponer de agua segura es primordial, pero esto depende de su origen, es decir si son aguas superficiales o subterráneas (Rodríguez et al. 2017). Con el crecimiento de la población y la intensificación del uso de los recursos hídricos, también está aumentando la degradación de las masas de agua superficiales. En este escenario, las aguas subterráneas cobran cada vez más importancia como fuentes alternativas de suministro de agua y se destaca la preservación de los sistemas hidrogeológicos en el contexto de la sostenibilidad urbana (de Jesus et al. 2020), (Singh et al. 2019).

La provisión de recursos hídricos subterráneos ha permitido el desarrollo económico y rápido de suministros de agua más confiables y de mejor calidad para una gran proporción de comunidades rurales que no cuentan con un sistema de suministro de agua en extensas áreas de África, Asia y América Latina (de Jesus et al. 2020),(Müller, Nina Stirn, and Veit Maier 2021),

además de satisfacer las necesidades de agua potable, agrícola e industrial de un tercio de la población mundial (Singh et al. 2019). Para innumerables poblaciones rurales, el desafío continuo es extender los servicios básicos, especialmente en áreas con condiciones hidrogeológicas menos favorables, y mejorar la sostenibilidad operativa de los muchos sistemas (Hiscok, Rivett, and Davison 2002).

El análisis del agua subterránea permite conocer a detalle sus características fisicoquímicas, además de proponer medidas en caso se detecten amenazas que puedan llegar a afectar su calidad, sobretodo en localidades donde esta sea usada como fuente de abastecimiento para el consumo humano (Fonseca et al. 2019) (Sánchez et al. 2016).

Entre los más abundantes contaminantes del agua subterránea, el hierro ocupa el cuarto lugar. Este se encuentra en forma de ion divalente (Fe^{2+}), y puede llegar al agua de forma natural a través de formaciones geológicas cuando minerales que contiene Fe se disuelven y se depositan en el agua subterránea almacenada; o de forma artificial por lixiviados de vertederos, descargas residuales industriales y mineras (Liu et al. 2022).

La presencia de hierro en el agua puede no solo causar problemas organolépticos, sino también daños a la salud y deterioro en el funcionamiento de los suministros de agua (Cheng et al. 2020)(Siabi and Ghana 2003).

Existen metodologías para la eliminación de hierro en el agua, entre ellas el uso de sistemas de aireación vertical, la cual es considerada como una opción que reduce el uso de energía en el proceso de aireación, lo cual permite no solo la eficiencia en el tratamiento sino que se considera una estrategia de control óptima para conservar energía de manera efectiva con la garantía de una mejora en la calidad del agua (Chen et al. 2022).

El tratamiento del agua mediante aireación es eficaz para el manejo de gases disueltos como radón, dióxido de carbono, algunos problemas de sabor y olor como metano y sulfuro de hidrógeno, así como compuestos orgánicos volátiles, o solventes industriales. También es eficaz para precipitar hierro y manganeso disueltos (Cano and Villamizar 2017). El aire hace que los gases disueltos o los compuestos volátiles se liberen del agua al ser ventilados. En el caso del hierro y el manganeso, el aire hace que estos minerales pasen de su estado disuelto a un estado sólido y se precipiten fuera de la solución. Luego, el agua puede pasar a través de un filtro para atrapar las partículas de hierro y manganeso (National Institute of Food and Agriculture 2019). Además, se ha demostrado que la aireación eleva el pH del agua (Torres and Lozano 2017).

El sistema de aireación considera el uso de bandejas de forma trapezoidal, de este modo reducir la pérdida de agua por salpicaduras, en el fondo de cada base tiene orificios o malla metálica para que el agua se distribuya al tanque receptor en el fondo. En cada nivel, el agua pasa a través de las bandejas, generalmente tienen un material adsorbente denso como carbón mineral o coque dentro de las bandejas para mejorar la distribución del agua y promover el intercambio de gases. El sistema es

Para asegurar la adsorción de contaminantes orgánicos, la Organización Mundial de la Salud recomienda el uso de Carbón Activado Granular (GAC) para aguas subterráneas (Thinojah and Ketheesan 2022).

La ubicación del lugar de estudio es en el Centro Poblado de Alianza, este pertenece a la Provincia de Lamas, San Martín. Ubicado en el Kilómetro 88 carretera Tarapoto-Yurimaguas. El estudio considera el análisis del agua subterránea del pozo perforado "Flores", el cual es distribuida a la población mediante la vent por galones. Se tienen antecedentes respecto a la presencia de hierro en el agua, además de que el pH es ácido (Padilla, Flores, and Leiva

2015) al no estar dentro del rango que establece el Ministerio de Salud (2010) para el agua de consumo humano.

METODOLOGÍA

Metodología de la investigación

De acuerdo a Hernández, Fernández, & Baptista (2010), la investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental; donde la variable de estudio fue manipulada durante el desarrollo de la investigación.

Diseño

Se elaboró el diseño del sistema de aireación tomando en consideración lo propuesto por Romero Rojas (1999), Cárdenas and Medina (2017), donde se consideró el diseño de la torre de aireación mediante los siguientes criterios de la **Figura 1**.

Criterios	Tamaño	Unidad
Bandejas	4	Und
Base inferior	20	cm
Altura	10	cm
Base superior	30	cm
Orificio de bandeja	Cantidad	Unidad
Orificio	36	Und
Separación entre orificios	2.5	cm
Diametro de orificio	1 a 2	mm
Separación entre bandejas	30	cm

Figura 1. *Criterios para la torre de aireación*

La **Figura 2** muestra el diseño de la torre de aireación, según las especificaciones antes mencionadas, se consideró un lecho de carbón activado de cáscara de coco de 0.15 a 0.30 cm de espesor, tal como lo hizo (Rodríguez and Alfonso 2014). La carga hidráulica fue 72 m³/m² día.

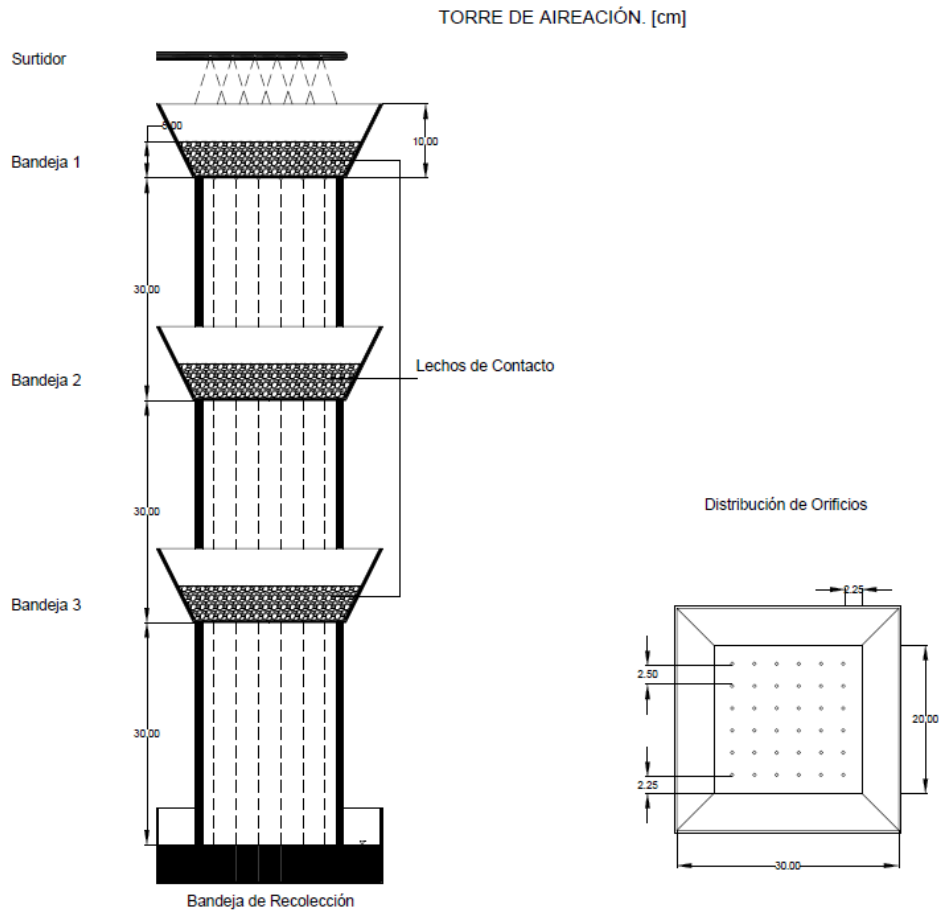


Figura 2. *Diseño de la torre de aireación*

Fuente: (Cárdenas and Medina 2017)

Toma de muestras y análisis de laboratorio

Se tomaron las muestras del agua subterránea, considerando el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Autoridad Nacional del Agua 2016).

Se consideró el análisis de parámetros físico químicos: pH, temperatura, Oxígeno disuelto y hierro (Fe+2) y parámetros microbiológicos: coliformes termotolerantes, coliformes totales, E.coli, huevos y larvas Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos, organismos de vida libre: Algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios larvarios.

Para determinar la eficiencia del sistema de aireación vertical se realizó la pre prueba en las muestras tomadas a la salida del tanque de almacenamiento del pozo perforado, mientras que la post prueba fue en la bandeja de recolección del sistema de aireación, se realizaron tres repeticiones para los parámetros fisicoquímicos.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el software IBM SSPS 25, los datos de la pre prueba y post prueba fueron analizados, se identificó que los datos tienen una distribución normal, por ello se procedió a aplicar Prueba T para muestras relacionadas.

Evaluación del cumplimiento normativo

Los datos obtenidos en la pre prueba y post prueba fueron comparados con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS 031-2010 SA (Ministerio de Salud 2010) a fin de verificar su cumplimiento.

RESULTADOS

Análisis pre prueba

Se recopilaron los datos de las muestras del agua subterránea analizadas en laboratorio, la **Figura 3** detalla la información registrada en cada una de las repeticiones de la pre prueba.

	P1	P2	P3	DS 031-2010
pH	4.78	4.81	4.75	6.5- 8.5

OD (mg/L)	1.32	1.31	1.31	*
Turbiedad (UNT)	0.4	0.54	0.51	5
Hierro (mg/L)	0.2	0.5	0.7	0.3
Dureza (mg CaCO ₃ L-1)	18	19	20	500
T°	27.52	28.75	27.86	**

Figura 3. Pre prueba de análisis de muestras de agua subterránea

*No existe valor de referencia para el Oxígeno disuelto.

**No existe valor de referencia para la temperatura.

Análisis pre prueba

La Figura 4, presenta los resultados de las post pruebas, es decir después de que el agua pasara por la torre de aireación.

	Post P1	Post P2	Post P3	DS 031-2010*
pH	6.63	6.62	6.61	6.5- 8.5
OD (mg/L)	2.07	2.14	2.14	*
Turbiedad (UNT)	0.01	0.01	0.02	5
Hierro (Fe ⁺²) (mg/L)	0	0	0	0.3
Dureza (mg CaCO ₃ L-1)	9	8	7	500
T°	24.78	24.89	24.81	**

Figura 4. Post prueba de analisis de muestras de agua subterránea

*No existe valor de referencia para el Oxígeno disuelto.

**No existe valor de referencia para la temperatura.

En la evaluación previa de las muestras de agua se identificó que el pH del agua era ácido, y no cumplía con lo establecido en el DS 031-2010 SA, estudios como el de Ospina and Orjuela (2019), mencionan que la presencia de hierro en el agua está relacionada con el pH, además su presencia en el agua está influenciada por los oxidos de hierro del suelo que se reducen a

compuestos de hierro de baja valencia, entrando al agua subterránea por acción de la gravedad (Zhang et al. 2020).

Respecto al OD, la norma no tiene valor de comparación, sin embargo, Chen et al. (2022) refiere que la medición de este parámetro de control y de bajo costo permite conocer la capacidad de autopurificación del agua, lo cual es un indicador para aguas residuales.

El sistema de aireación buscó disminuir la concentración de hierro en el agua, debido a que se considera que la eliminación de hierro es necesaria cuando la concentración es superior a 0,3 mg/L (Thinojah and Ketheesan 2022). Se entiende que el desprendimiento de dióxido de carbono aumenta el pH del agua y promueve la precipitación del hierro ferroso como un hidróxido férrico, carbonato u óxido entre más pequeñas las gotas o más delgadas las capas en que se subdivide el agua para airearla, mayor eficiencia (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico 2000).

En una investigación donde el sistema de potabilización contó con aireación, coagulación, floculación, cloración y filtración, sedimentación, estabilización y almacenamiento; se analizaron los parámetros organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados preliminares mostraron que los parámetros color aparente, turbiedad, hierro, aerobios mesófilos no lograron cumplir con los valores máximos aceptables (Ospina and Orjuela 2019).

La presencia de hierro en el agua podría estar relacionada a los componentes del suelo, como el hierro, aluminio, manganeso, cobre y zinc; debido a procesos de meteorización del suelo (Guillen et al. 2021). En la zona de estudio, Centro Poblado Alianza el suelo tiene una tendencia a ser extremadamente ácido (pH 3.25) y muy fuertemente ácido (pH 4.26) (Escobedo Torres 2005).

Por su parte, Zhang et al. (2020), sostiene que la fuente de Fe y Mn en el agua subterránea son los nódulos de hierro y manganeso en la capa de arcilla del suelo, mientras que, en la llanura del valle del río, se origina en el suelo y en todo el acuífero. El TDS, la fluctuación en los niveles de agua subterránea y el tiempo de residencia son los factores importantes que afectan el

contenido de Fe y Mn en el agua subterránea. Por su parte Homoncik et al. (2010), observó una relación independiente entre el Fe y el Mn, lo que indica que la actividad del Fe en el agua subterránea podría afectar la solubilidad del Mn. Liu et al. (2022), declaró que cuando el pH < 4, la alta concentración de H⁺ se adsorbió competitivamente en la superficie, bloqueando Fe²⁺ y Mn²⁺, y reaccionó más fácilmente con los grupos activos en la superficie del IHA/TM para que los iones metálicos se disociaran fácilmente del complejo. Cuando el pH fue de 4 a 6, la tasa de eliminación de Fe²⁺ y Mn²⁺ siguió aumentando, pero la tasa de crecimiento disminuyó ligeramente.

Molina (2018), afirma que en el tratamiento del agua es necesario poner énfasis en el proceso de desinfección, a fin de asegurar la inocuidad a la población. Mientras que Thinojah and Ketheesan (2022), refiere que, el nivel de hierro cumple con el estándar de calidad de agua potable recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) al emplear filtros GAC son más adecuados para la eliminación de hierro de las aguas subterráneas.

Prueba T para muestras relacionadas

Se aplicó la prueba t para muestras relacionadas, identificando una variación estadísticamente significativa entre pre prueba y post prueba para el caso del pH, turbiedad y OD. Por lo tanto, podemos decir que la torre de aireación permitió que se pudiera alcanzar un pH neutro que cumpla con el rango establecido en la norma de agua para consumo humano, lo mismo para la turbiedad y el oxígeno disuelto. En el caso de hierro, se logró reducir a 0 la concentración, sin embargo la diferencia entre pre prueba y post prueba no fue estadísticamente significativa.

	IC 95%		t	gl	p
	Lower	Upper			
pH	-190.6	-177	-120.4	2	,000
Hierro (Fe ⁺²)	-0.1	109.2	3.2	2	,085
Turbiedad	0.3	0.6	11.2	2	,008

Dureza	603.2	1.6	9.5	2	,011
OD	-0.9	-0.7	-30.1	2	,001

Figura 5. Prueba t para muestras relacionadas, pre prueba y post prueba

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la torre de aireación vertical puede eliminar de manera efectiva los iones de hierro del agua subterránea, identificando una variación estadísticamente significativa entre pre prueba y post prueba para el caso del pH, turbiedad y OD, mientras que para la dureza se logró reducir la concentración aunque no a un nivel significativo.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos para pre prueba y post prueba, en el caso de la post prueba, estos cumplieron con los parámetros de Calidad de Agua para Consumo Humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. 2016. *Protocolo Nacional Para El Monitoreo de La Calidad de Los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima, Perú:
<https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>.
- Cano, A., and K. Villamizar. 2017. "Estudios y Diseños de La Planta de Tratamiento de Las Aguas Subterráneas de La Finca La Vitrina de La Universidad Cooperativa de Colombia." Universidad Cooperativa de Colombia.
- Cárdenas, A., and J. Medina. 2017. "Diseño y Construcción de Una Planta de Tratamiento de Agua Potable a Escala Para El Laboratorio de Hidráulica de La Universidad Santo Tomás." Universidad Santo Tomás, Bogota.
- Chávez-Jiménez, A., and D. González-Zeas. 2015. "El Impacto de Los Caudales Medioambientales En La Satisfacción de La Demanda de Agua Bajo Escenarios de Cambio Climático." *Ribagua* 2(1):3–13. doi: 10.1016/j.riba.2015.04.001.

- Chen, Yingsong, Huijie Zhang, Yufang Yin, Feng Zeng, and Zhouping Cui. 2022. "Smart Energy Savings for Aeration Control in Wastewater Treatment." *Energy Reports* 8:1711–21. doi: 10.1016/J.EGYR.2022.02.038.
- Cheng, Li-Hua, Zhao-Zhao Xiong, Shuo Cai, Du-Wang Li, and Xin-Hua Xu. 2020. "Aeration-Manganese Sand Filter-Ultrafiltration to Remove Iron and Manganese from Water: Oxidation Effect and Fouling Behavior of Manganese Sand Coated Film." *Journal of Water Process Engineering* 38:101621. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101621.
- Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. *Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000*. Bogota, Colombia.
- Escobedo Torres, Roger. 2005. *Zonificación Ecológica Económica de La Región San Martín*. Tarapoto.
- Fonseca, Alicia, Helga Madrigal, Christian Núñez, Hazel Calderón, Moraga Alicia, and Geannina Gómez. 2019. "UNICIENCIA." *Uniciencia* 33:76–97. doi: 10.15359/ru.33-2.6.
- Gómez, Anna, Maria Josepa Miralles, Irene Corbella, Soledad García, Sonia Navarro, and Xavier Llebaria. 2016. "La Calidad Sanitaria Del Agua de Consumo." *Gaceta Sanitaria* 30:63–68.
- Guillen, J., A. Jaramillo, R. Baquerizo, and R. Córdova. 2021. "Estudio de Los Procesos de Remoción de Hierro y Manganese En Aguas Subterráneas: Una Revisión." 6(9):1384–1407.
- Hernández, Roberto;, Carlos; Fernández, and Lucio Baptista. 2010. *Metodología de La Investigacion*. 5th ed. Mexico: Mc Graw Hill.
- Hiscok, K., M. Rivett, and M. Davison. 2002. *Sustainable Groundwater Development*. Geological Society Special Publications.
- Homoncik, S. C., A. M. MacDonald, K. v Heal, B. E. O. Dochartaigh, and B. T. Ngwenya. 2010. "Manganese Concentrations in Scottish Groundwater." *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 408(12):2467–73. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.02.017.
- de Jesus, Josilena, Alan Gomes, Daíse da Silva, Lindolaine Machado, Tiago de Oliveira, Ana Lúcia, Wanderley Rodrigues, and Elisabete Lourdes. 2020. "Águas Subterrâneas." *Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas* (1):1–15. doi: 10.14295/ras.v35i1.29972.
- Liu, Ling, Tianyi Zhang, Xiaowan Yu, Vitumbiko Mkandawire, Jiadi Ma, and Xilin Li. 2022. "Removal of Fe²⁺ and Mn²⁺ from Polluted Groundwater by Insoluble Humic Acid/Tourmaline Composite Particles." *Materials* 15(9). doi: 10.3390/ma15093130.

- Ministerio de Salud. 2010. *Reglamento de La Calidad Del Agua Para Consumo Humano DS 031-2010 SA.*
- Molina, L. 2018. "Propuesta de Uso Del Agua Subterránea Del Distrito de Uraca-Corire Para El Consumo Humano Mediante La Identificación de Los Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos." Universidad Nacional de San Agustín.
- Müller, Daniel, Charlotte Nina Stirn, and Martin Veit Maier. 2021. "Arsenic Removal from Highly Contaminated Groundwater by Iron Electrocoagulation— Investigation of Process Parameters and Iron Dosage Calculation." *Water* 2021, Vol. 13, Page 687 13(5):687. doi: 10.3390/W13050687.
- National Institute of Food and Agriculture. 2019. "Drinking Water Treatment – Aeration – Drinking Water and Human Health." *Drinking Water Treatment – Aeration*. Retrieved June 12, 2021 (<https://drinking-water.extension.org/drinking-water-treatment-aeration/>).
- Organización de las Naciones Unidas. 2020. "Objetivo 6: Garantizar La Disponibilidad de Agua y Su Gestión Sostenible y El Saneamiento Para Todos." *Agua y Saneamiento – Desarrollo Sostenible*. Retrieved April 16, 2021 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>).
- Ospina, D., and A. Orjuela. 2019. "Propuesta de Un Sistema de Potabilización de Agua Subterránea Para La Finca Las Brisas En Nemocón, Cundinamarca." Universidad América.
- Padilla, Betsabeth, Patty Flores, and Diana Leiva. 2015. "Comparación Entre Un Proceso de Filtración Simple y Múltiple Para Tratar Agua Subterránea Con Alto Índice de Hierro (Fe+2) - Centro Poblado Alianza, San Martín, 2014." *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 1(2). doi: 10.17162/RICTD.V1I2.636.
- Piguave-Reyes, José Manuel, Maribel Josefina Castellano-González, Aida Monserrate Macías-Avia, Franklin Antonio Vite-Solórzano, Martín Darío Ponce-Pibaque, and Jaime Arturo Ávila-Ávila. 2019. "Calidad Microbiológica Del Agua Subterránea Como Riesgo Epidemiológico En La Producción de Enfermedad Diarreica Infantil. Revisión Sistemática." *Kasmera* 47(2). doi: 10.5281/zenodo.3544740.
- Rodríguez, Chavarro, and Daniel Alfonso. 2014. "Diseño de Una Planta de Tratamiento de Agua Potable de 2 Ltrs/s Para Una Población de 750 Habitantes."
- Rodríguez, María S., Liliana B. Moraña, María M. Salusso, and Lucas Seghezzo. 2017. "Spatial and Seasonal Characterization of the Drinking Water from Various Sources in a Peri-Urban Town of Salta." *Revista Argentina de Microbiología* 49(4):366–76. doi: 10.1016/j.ram.2017.03.006.

- Romero Rojas, Jairo Alberto. 1999. "Potabilizacion Del Agua.Pdf." 306.
- Sánchez, J., T. Álvarez, J. Pacheco, L. Carrillo, and R. Amílcar. 2016. "Calidad Del Agua Subterránea: Acuífero Sur de Quintana Roo, México." *Tecnología y Ciencias Del Agua*.
- Siabi, W., and Ghana. 2003. "Potential of Activated Carbon for Manganese and Iron Removal." Abuja, Nigeria: 29th WEDC International Conference.
- Singh, Thind, Sharma, SashikantaSahoo, and John. 2019. "Environmentally Sensitive Elements in Groundwater of an Industrial Town in India: Spatial Distribution and Human Health Risk." *Water* 11(11):2350. doi: 10.3390/w11112350.
- Thinojah, T., and B. Ketheesan. 2022. "Iron Removal from Groundwater Using Granular Activated Carbon Filters by Oxidation Coupled with the Adsorption Process." *Journal of Water and Climate Change* 13(5):1985–94. doi: 10.2166/wcc.2022.126.
- Torres, G., and E. Lozano. 2017. "Disminución de Sólidos de Aguas Grises Mediante Un Proceso de Aireación." *Ra Ximhai* 13(3):393–404.
- Zhang, Zhihao, Changlai Xiao, Oluwafemi Adeyeye, Weifei Yang, and Xiujuan Liang. 2020. "Source and Mobilization Mechanism of Iron, Manganese and Arsenic in Groundwater of Shuangliao City, Northeast China." *Water* 2020, Vol. 12, Page 534 12(2):534. doi: 10.3390/W12020534.