



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO
HUMANO MEDIANTE FILTROS DE ZEOLITA Y ARENA EN LA V
ETAPA DE CIUDAD CONSTITUCIÓN, OXAPAMPA, PERÚ”**

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Edwar Tucto Cueva (0000-0003-3370-7558)

Grecia Thane Oscoco Medina (0000-0002-1247-5332)

Asesor:

Armando Vélez Azañero (0000-0003-4246-1502)

Lima – Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 22 de febrero del 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Ing. Maiquel López Silva
Miembro: Mg. Ing. Enrique Herencia Nuñez
Miembro: Mg. Ing. Jimmy Castillo Becerra

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO MEDIANTE FILTROS DE ZEOLITA Y ARENA EN LA V ETAPA DE CIUDAD CONSTITUCIÓN, OXAPAMPA, PERÚ”

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Edwar Tucto Cueva**
- **Grecia Oscco Medina**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Armando Vélez Azañero

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: Edwar Tucto Cueva & Grecia Oscco Medina		Nota (en letras): (Quince) 15	
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. Ing. Maiquel López Silva
Presidente



Mg. Ing. Enrique Herencia Nuñez
Miembro 1



Mg. Ing. Jimmy Castillo Becerra
Miembro 2



Mg. Blgo. Armando Vélez Azañero
Asesor

T // (51) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN¹

Lima, 03 de marzo del 2023

Señor,
 Dr. Percy Mayta Tristán
Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Nosotros: Edwar Tucto Cueva y Grecia Thane Oscoco Medina, egresados de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis Mg. Blgo. Armando Vélez Azañero, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: "TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO MEDIANTE FILTROS DE ZEOLITA Y ARENA EN LA V ETAPA DE CIUDAD CONSTITUCIÓN, OXAPAMPA, PERÚ" sustentado para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos ², que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Edwar Tucto Cueva
DNI: 42115926



Mg. Blgo. Armando Vélez
Azañero DNI:43443550



Grecia Thane Oscoco Medina
DNI: 74356114

¹ En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

² Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Tratamiento de aguas subterráneas de consumo humano mediante filtros de zeolita y arena en la V etapa de Ciudad Constitución, Oxapampa, Perú

Autores. Edwar Tucto Cueva; Grecia Oscco Medina.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2030684273).

Resultado de la evaluación. 8%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.

Tratamiento de aguas subterráneas

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Científica del Sur Trabajo del estudiante	4%
2	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
3	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	dge1.insp.mx Fuente de Internet	<1%
5	ndep.nv.gov Fuente de Internet	<1%
6	www.unanleon.edu.ni Fuente de Internet	<1%
7	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1%
8	vsip.info Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Rockhampton Girls Grammar School	<1%

Resumen

El agua es de vital importancia en la gestión ambiental, y viene siendo amenazado por diversos factores, que proyectan una crisis severa afectando principalmente pozos y nacientes debajo de la superficie. El objetivo de la investigación fue comparar el tratamiento de aguas subterráneas de consumo humano mediante filtros de zeolita y arena en la V etapa de Ciudad Constitución. Se establecieron cinco pozos de muestreo en base a la afluencia de personas, y se tomaron muestras de agua para el análisis fisicoquímico y microbiológico en época seca y lluviosa. Se determinó el pozo con menor índice de calidad del agua -ICA como control, y se construyeron filtros de zeolita y arena, para conocer la eficiencia con el mismo método a la salida del sistema. Se encontró una correlación perfecta positiva entre el parámetro de Conductividad eléctrica y Sólidos totales disueltos (Std), aunque también se presentaron otros pares de importancia. Para el análisis de componentes principales se observó un solo núcleo de agrupamientos para la época seca, y dos agrupamientos para la época lluviosa. Los resultados no son relevantes en ninguna época del año para el parámetro de pH, otros parámetros como el Hierro, Cloruros y Amonio, Conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, y bacterias heterotróficas, muestran valores no significativos, o menos relevantes al control. Sin embargo, representan métodos efectivos para disminuir la Turbiedad, y eliminar el contenido de bacterias coliformes; que le permiten ser eficientes como indicadores de calidad del agua, donde el filtro de Zeolita es más eficaz para los parámetros fisicoquímicos, y el filtro de arena para los parámetros biológicos.

Palabras clave: Aguas subterráneas, ICA, turbiedad, coliformes, aguas contaminadas, zeolita, filtro de arena.

Abstract

Water is of vital importance in environmental management, and has been threatened by various factors, which project a severe crisis affecting mainly wells and springs below the surface. The objective of the research was to compare the treatment of groundwater for human consumption using zeolite and sand filters in the V stage of Ciudad Constitución. Five sampling wells were established based on the influx of people, and water samples were taken for physicochemical and microbiological analysis in dry and rainy seasons. The well with the lowest water quality index -ICA was determined as a control, and zeolite and sand filters were constructed to determine the efficiency using the same method. A perfect positive correlation was found between the electrical conductivity parameter and Total Dissolved Solids (Std), although other pairs of importance were also present. For the principal component analysis, only one core of clusters was

observed for the dry season and two clusters for the rainy season. The results are not relevant at any time of the year for the pH parameter, other parameters such as iron, chlorides and ammonium, electrical conductivity, hardness, alkalinity, and heterotrophic bacteria, show non-significant values, or less relevant to the control. However, they represent effective methods for turbidity and coliform bacteria, which allow them to be efficient as water quality indicators, where the Zeolite filter is more effective for physicochemical parameters, and the sand filter for biological parameters.

Keywords: groundwater, AQI, turbidity, coliforms, contaminated water, zeolite, sand filter.

Introducción

El agua, además de considerarse un componente vital, juega un papel importante en la seguridad alimentaria del planeta, en la gestión ambiental global y local, y en los planes sociales y económicos de desarrollo (Rossel *et al.*, 2020; Herrera – Morales *et al.*, 2022). Sin embargo, viene presentando amenazas de escasez y disponibilidad cada vez más graves, como producto del crecimiento urbano, la falta de cultura y la contaminación (Betancourt *et al.*, 2021). En la actualidad, solo un 30% de personas tienen acceso al agua potabilizada, y el 60% carecen de sistemas de saneamiento (OMS, 2017); y se proyecta una crisis mundial severa en los próximos diez años.

Los contaminantes del agua, están relacionados principalmente a componentes xenobióticos generados por la actividad antropogénica, y a organismos como bacterias, y parásitos de gran impacto (Gómez–Duarte, 2018; Terrel, 2019). Los que atienden de forma directa, al aumento poblacional, el desarrollo industrial, y el incremento de la pobreza como factores de riesgo (Ríos – Tobón *et al.*, 2017), acentuados por falta de políticas inclusivas y sostenibles.

Entre las fuentes de agua más afectadas se encuentran los pozos y las nacientes debajo de la superficie. Impactadas por actividades agrícolas, presencia de letrinas artesanales, deficiente manejo de residuos sólidos (Mariscal & Sorroza, 2017; Alcívar – Bueno *et al.*, 2017) y la inadecuada disposición de excretas humanas que se dispersan en función a la variación del nivel piezométrico (Zegarra, 2017a; Zegarra, 2017b). Ocasionando problemas de salud pública, como enfermedades gastrointestinales mayormente en niños y adultos mayores. (Galindo, 2018)

El 23.8% de la población peruana, consume agua proveniente de camiones cisterna, pozos o agua de río, que se consumen directamente

sin ningún tratamiento (ANA, 2022), aumentando el riesgo de padecer enfermedades gastrointestinales (Lama, Mancilla & Castro, 2014). El distrito de Ciudad Constitución, de la región Pasco en Perú, registra un elevado índice de enfermedades causadas por aguas sin tratamiento adecuado. Cerca del 13.3% de niños han padecido enfermedades diarreicas siendo la segunda causa de muerte en menores de cinco años (Ordoñez, 2018; INEI, 2019) presumiendo que estos problemas de alguna manera disminuyen la calidad de vida de los habitantes de esta localidad.

Para evitar el consumo de aguas contaminadas se han creado métodos como los filtros con zeolita y arena, alternativas relevantes en comunidades rurales que no cuentan con servicios óptimos de tratamiento. En su estado natural, la zeolita posee una capacidad catiónica elevada, que permite la eliminación de sustancias tóxicas (Vera *et al.*, 2016) como los metales pesados (Hurtado *et al.*, 2018), además de reducir la acidez (Cárdenas – Garza y Rocha – Ríos, 2021) permitiendo su reutilización (Méndez de los Santos y López, 2021; Guerrero *et al.*, 2018). La arena representa un método económico (Salgado *et al.*, 2022), capaz de eliminar la turbiedad, patógenos (Córdoba *et al.*, 2016) como los coliformes fecales (Torres – Parra *et al.*, 2017), y suspender partículas causantes de diversas enfermedades (Etapé *et al.*, 2021).

El objetivo de la investigación fue comparar el tratamiento de aguas subterráneas de consumo humano mediante el filtro de zeolita y mediante el filtro de arena en la V etapa de Ciudad Constitución, Provincia de Oxapampa, Región Pasco, Perú; por su importancia en la seguridad alimentaria, la gestión ambiental, el desarrollo social y económico.

Materiales y métodos

Área de estudio

El centro poblado de la Ciudad Constitución (Figura 1), se encuentra en el corazón de la selva en el distrito de Constitución, ubicado en la provincia Oxapampa en la región Pasco, asentada en la llanura fluvial a una altitud de 251 msnm con un clima cálido – húmedo, y es caracterizado por precipitaciones anuales de 2000mm y temperaturas de 26.1°C aproximadamente (Municipalidad Provincial de Oxapampa, 2018). La V etapa es uno de los lugares que constituyen el centro poblado (WGS 1984 UTM, Zona 18L; X= 498267.02, Y= 8911337.28),

contando con una población de 13634 habitantes, distribuidos en zonas urbanas y rurales; con mayor afluencia en zonas urbanas, donde predomina el sexo masculino, en el grupo de personas menores a 15 años (INEI, 2019).

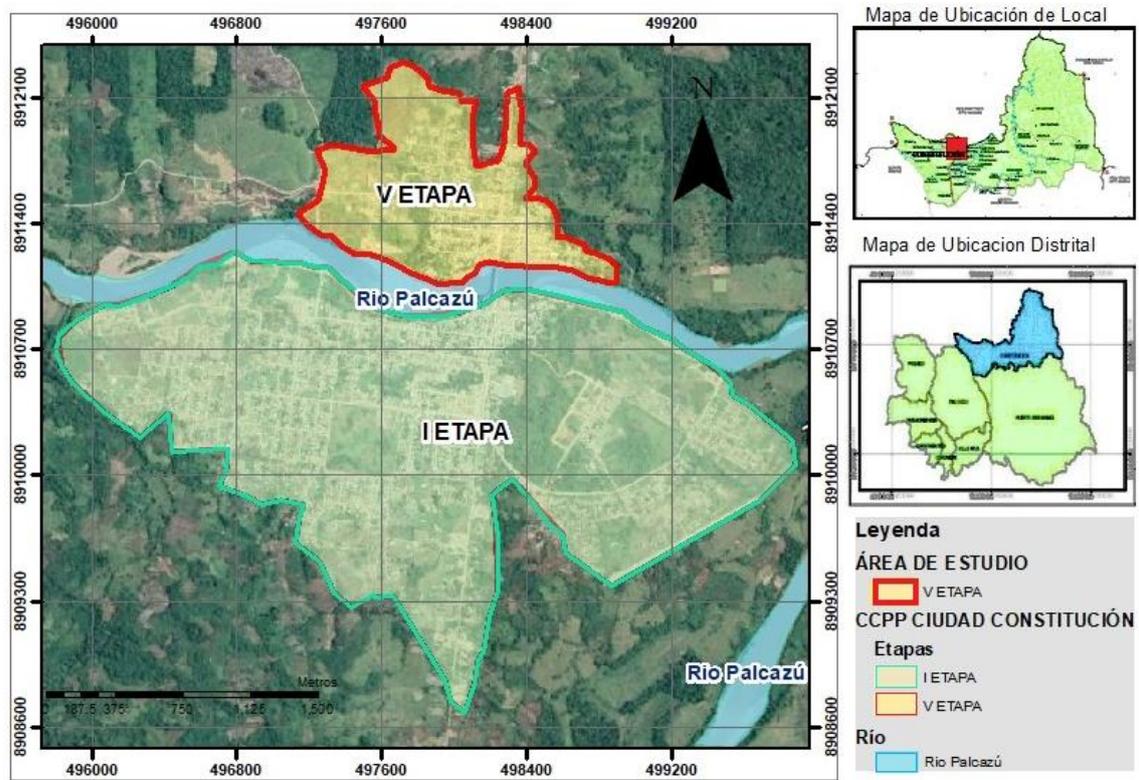


Figura 1.

Mapa del centro poblado del distrito de Ciudad Constitución (I y V etapa). Área de estudio conformando solo por la V etapa del centro poblado

Zona de muestreo

Se realizó el muestreo en los siguientes puntos, donde la afluencia de personas fue considerable en la zona: pozo de un centro comercial (PM1), pozo del centro de salud (PM2), pozo de restaurante (PM3), pozo de un colegio (PM4) y pozo de vivienda (PM5); con coordenadas WGS 1984 UTM, Zona 18L; 498498.76 – 8911337.28; 498079.98 – 8911345.45; 498311.7 - 8911637.41; 497938.23- 8911684.3 y 497535.31 - 8911459.78 (Figura 2).

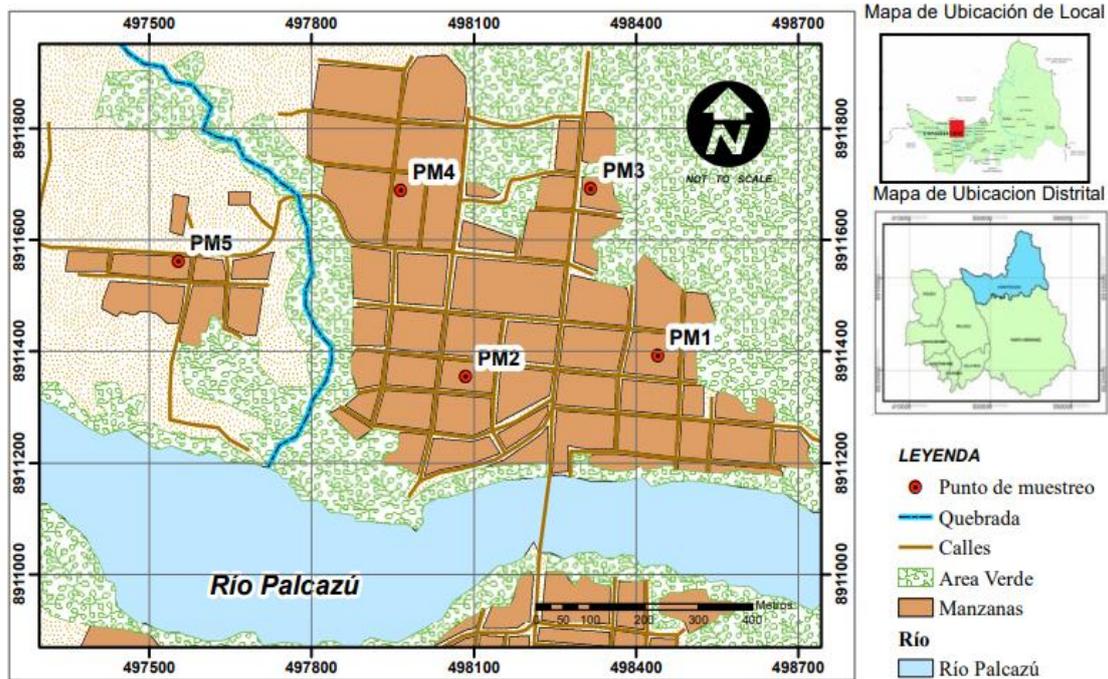


Figura 2.

Mapa del área de estudio y puntos de muestreo (PM1= pozo de un centro comercial, PM2= pozo del centro de salud, PM3= pozo de un restaurante, PM4= pozo de un colegio, PM5= pozo de vivienda) en la V etapa del centro poblado de la Ciudad Constitución.

Diseño de investigación

La investigación siguió un diseño monofactorial, donde el único factor estudiado estuvo representado por el tipo de filtro, con dos niveles: Zeolita y Arena. Además, la investigación consideró dos variables de respuesta que fueron: Parámetros fisicoquímicos, y parámetros biológicos. El alcance fue correlacional, para determinar la relación valorada entre las variables, el enfoque fue cuantitativo, y la temporalidad prospectiva– longitudinal. En cuanto a la manipulación de las variables, fue de corte experimental.

Métodos

Muestreo y análisis

Para la colecta de muestra de agua de los pozos se siguió el Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, a partir del cual se recolectaron dos muestras de cada pozo: una en un frasco de plástico (polipropileno) de 1L, para el análisis físico químico, y otra en un frasco de vidrio de 500 ml, para el análisis microbiológico, siendo un total de diez muestras para cada época (seca y lluviosa; DIGESA, 2015). Las muestras fueron rotuladas, y enviadas en frío a un laboratorio

acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad). Los resultados de cada muestra fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del reglamento de la calidad de agua para consumo humano (MINSA, 2011), con la finalidad de hallar y seleccionar el ICA con mayor grado de deterioro.

Construcción de filtros

Para el proceso de armado de los filtros (zeolita y arena) se siguió el manual propuesto por (Torres & Villanueva, 2013) para el filtro de arena, el cual fue adaptado para el filtro de zeolita activada y el filtro de referencia, ya que, debían presentar las mismas dimensiones de infraestructura. Se acondicionaron bidones de 80L, con dos perforaciones: en la parte inferior (1 in) para la salida, y en la parte superior (0.5 in) para la entrada de agua. Se instaló una válvula universal de cierre rápido en la tubería de entrada, y un grifo de PVC en la línea de salida hacia el tanque receptor final, ensamblado a una red de drenaje. Se realizó el lavado de todo el material granular, previa a la disposición del lecho filtrante, para eliminar todas las impurezas.

Para el filtro de arena, se instaló primero, una capa de grava gruesa (12cm de altura); en segundo lugar, una capa de grava media (12cm) en tercer lugar, una capa de arena gruesa entre 0.9mm y 1.1mm (4cm). Se colocó una capa de arena fina en cuarto lugar (25cm); en quinto lugar, una capa de gravilla (6cm) que reguló la capacidad de filtración. Finalmente, se colocó un plato difusor para transmitir el caudal de ingreso de manera homogénea a la capa filtrante. Para el filtro de zeolita, se instaló primero, una capa de grava gruesa (12cm de altura); en segundo lugar, una capa de grava media (12cm) en tercer lugar, una capa de zeolita (25cm); y una capa de gravilla (6cm) en el cuarto lugar. Finalmente, se colocó un plato difusor para transmitir el caudal de ingreso de manera homogénea a la capa filtrante. Se instaló, además, una válvula-flotador en cada sistema, para establecer el nivel de agua del filtro, y se perforaron orificios para favorecer la ventilación (Figura 3).

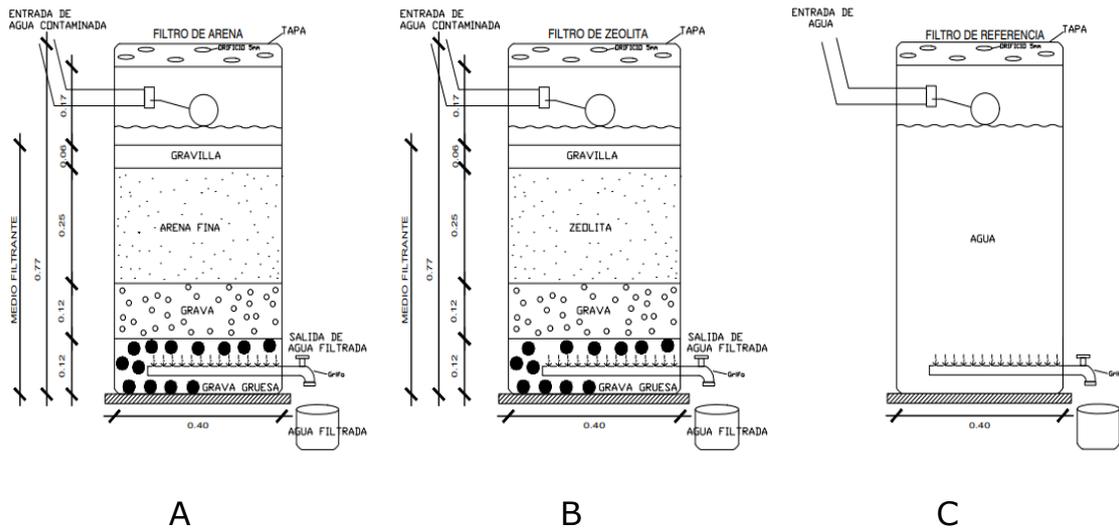


Figura 3.

Modelo de filtros adaptados. A=Filtro de arena, B=Filtro de zeolita activada (térmica), C=Filtro de referencia.

Cálculo de eficiencia

Para la evaluación de la eficiencia de los filtros, se utilizó el ICA, cuyo objetivo consiste en determinar el grado de calidad del agua superficial o subterránea. Mediante el ICA se pudo determinar el grado de contaminación de los pozos en su estado inicial, es decir, antes de los experimentos. Mediante esta evaluación, se determinó, además, el grado de eficiencia de remoción de cada filtro.

Para calcular el ICA, se usó la fórmula:

$$ICA = \frac{C_i * P_i}{\sum P_i}$$

Donde:

C_i : Valores asignados a cada parámetro C

P_i : Peso relativo asignado a cada parámetro.

Los parámetros C a los que hace mención la fórmula son oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda de oxígeno bioquímico, cambio de temperatura, fosfato total, nitratos, turbiedad y Std (Debels et al., 2005; Álvarez et al., 2006). No obstante, en el presente estudio se usaron los parámetros Coliformes fecales, Std, Oxígeno disuelto, pH y Turbidez para el cálculo en virtud que fueron las que se obtuvieron del laboratorio al cual se enviaron las muestras para su análisis. Obtenido los parámetros, se ingresaron a la plataforma Calculating NSF Water Quality Index

(https://www.engineering.iastate.edu/~dslutz/dmrwqn/water_quality_index_calc.htm) la cual sigue el protocolo propuesto por Meléndez & Ramirez (2013) para el cálculo del ICA.

Análisis estadístico

Para los parámetros organolépticos, físico químicos, microbiológicos y parasitológicos en los cinco puntos (PM1, PM2, PM3, PM4 y PM5) se realizó un análisis de componentes principales para visualizar el agrupamiento de los puntos en las dos épocas analizadas

Con respecto al tratamiento, basados en el tipo de filtro (Control, arena y zeolita), tanto en época seca como de lluvia, se realizó un análisis de correlaciones con el índice de Pearson; y se estimó su respectivo valor p representado con los asteriscos de significancia. Además, se analizaron quince parámetros, de los cuales, a los numéricos se aplicó un análisis de varianza ANOVA, para las variables que mostraron significancia se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, para analizar la diferencia entre cada uno de los tratamientos, se estimó sus respectivos intervalos de confianza el cual fue comparado con el LMP. Para las variables categóricas se estimó la proporción de casos que cumplían con el LMP, junto con el intervalo de confianza. El análisis fue realizado por el software estadístico R Project, versión 24, a un nivel de confianza del 95%.

Resultados

Análisis de componentes principales

Este análisis, nos muestra que los valores de las variables para los cinco puntos de monitoreo en el área de estudio (PM1, PM2, PM3, PM4, PM5), permanecen agrupados en un solo núcleo para la época lluviosa, sin embargo, esta relación se ve afectada en la época seca, donde los valores de las variables muestran una mayor dispersión, generando dos agrupamientos, el primero, formado por los puntos PM3, PM4 y PM5; y el segundo formado por PM1, y PM2 (Figura 4).

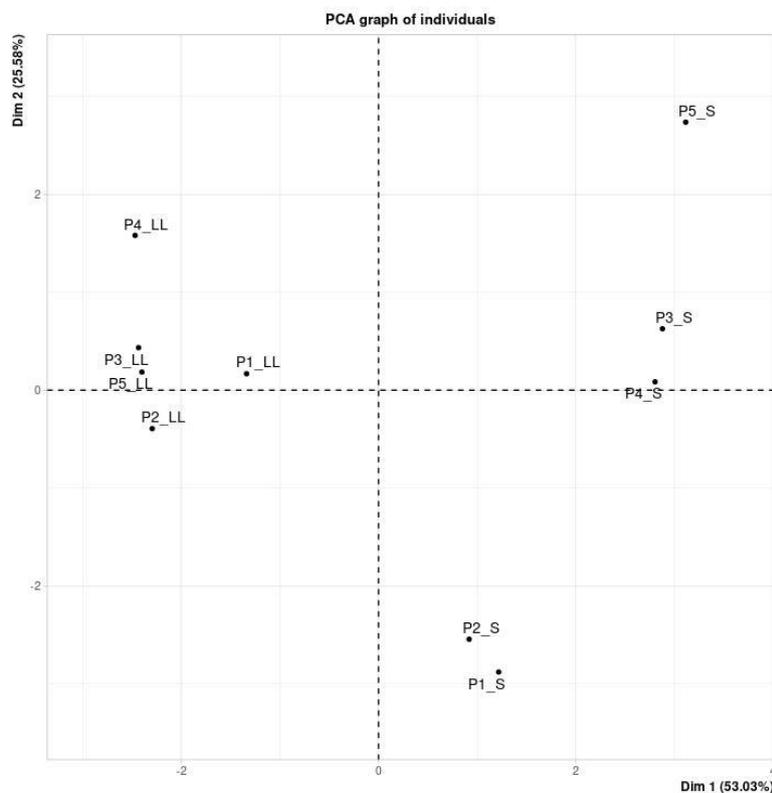


Figura 4.

Análisis de componentes principales de los parámetros organolépticos, físico químicos, microbiológicos y parasitológicos, en la V etapa de ciudad Constitución, Oxapampa. LL: época de lluvias, S: época seca, P: PM.

Correlación entre las variables

La mayor correlación positiva (significativa) encontrada en la investigación para ambos filtros, corresponde a los niveles Std -

Conductividad eléctrica, con un valor de 100%, sin embargo, otros pares también mostraron resultados importantes como: Std – Dureza, y Dureza – Conductividad con 93%; Alcalinidad - Concentración de hierro con 83%; y pH – Conductividad, pH – Dureza, Cloruros – Conductividad, Std – Cloruros y Std – pH con 79%. Otras relaciones no fueron consideradas por la significancia o el bajo nivel de relación (Figura 5).

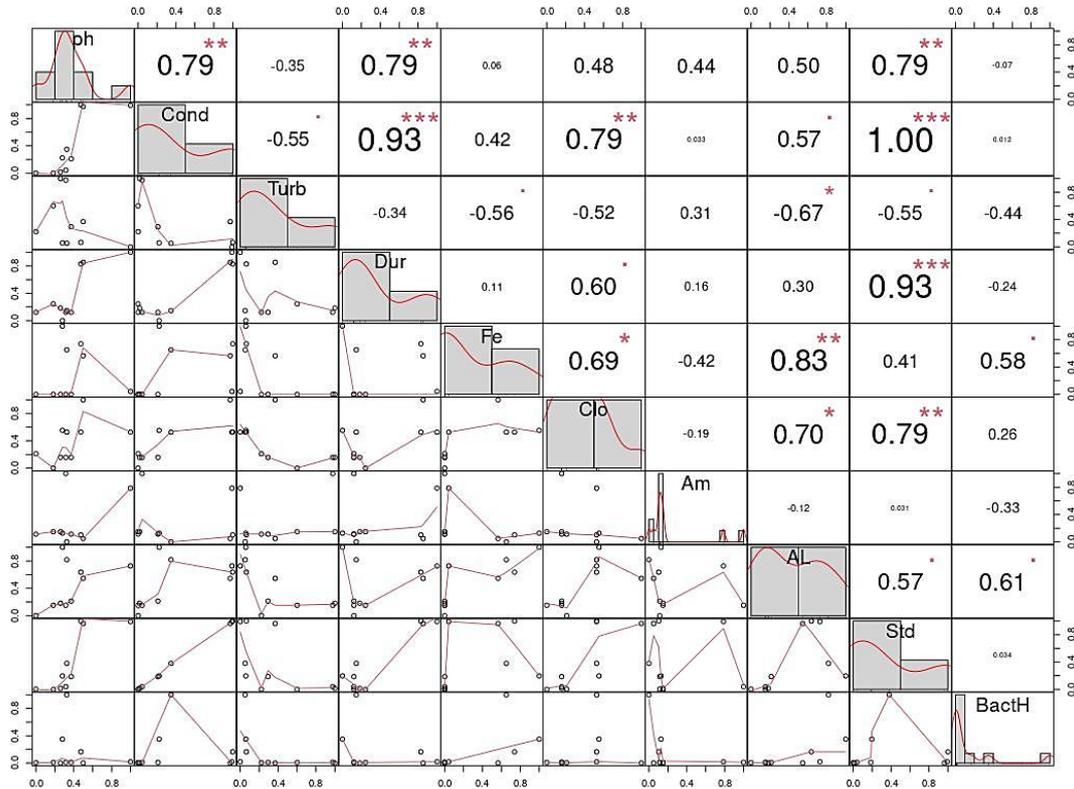


Figura 5.

Correlación de Pearson para los parámetros organolépticos, físicos químicos y microbiológicos, en la V etapa de ciudad Constitución, Oxapampa. Am: Amonio (NH_4^+ , ión Amonio), AL: Alcalinidad (CO_3^{2-} y HCO_3^-), Std: Sólidos totales disueltos, Dur: dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+}), Clo: Cloruros (Cl^-).

Época seca (Tabla 1)

En ninguno de los tratamientos estudiados el parámetro pH logró mostrar un intervalo de confianza dentro del rango aceptable por la normativa peruana (6.5 – 8.5); sin embargo, los resultados para el filtro de arena, mostraron valores significativamente mayores al control, y los resultados del filtro de Zeolita presentaron valores significativamente menores al control. Con respecto a la Conductividad

Eléctrica, todos los tratamientos se encontraron en un rango aceptable por debajo del LMP (1500 $\mu\text{mho/cm}$); tanto los resultados para el filtro de Arena, como para el de Zeolita, presentaron valores significativamente menores al control, aunque los datos del filtro de Zeolita fueron significativamente menores a los del filtro de Arena en este parámetro.

Para la Turbiedad, a excepción del tratamiento control (10.77 NTU), los resultados del filtro de Zeolita y el filtro de Arena, fueron menores al LMP (5 NTU), aunque no presentaron diferencia significativa entre ellos. Sin embargo, los valores para el filtro de Arena presentaron valores promedio, mayores a los valores del filtro de Zeolita. Para la Dureza, todos los tratamientos fueron menores al LMP (500 ppm), sin embargo, los resultados al usar el filtro de arena (131.667 ppm) incluso superaron al tratamiento control (59.167 ppm) en 222.4%, mostrando que son ineficientes en este parámetro.

Los valores para el Hierro en todos los tratamientos, fueron iguales (0.1 ppm) y menores al LMP exigido en la normativa peruana (0.3 ppm). Para los cloruros, los resultados no fueron estadísticamente significativos entre el control y ambos filtros, aunque todos se encontraron por debajo del LMP para este parámetro (250 ppm). Para el parámetro Amonio, los resultados de los tratamientos tampoco fueron estadísticamente significativos con respecto al control, aunque se encontraron dentro del LMP. Con respecto a la alcalinidad, solo los valores obtenidos del filtro de Arena, presentaron significancia con respecto al control. En cuanto a los Std, todos los tratamientos presentaron valores por debajo del LMP, además, los resultados para cada tipo de filtro mostraron diferencia significativa con el control (1000 ppm); aunque en este punto, los resultados para el filtro de Zeolita (14.9 ppm) fueron significativamente menores a los resultados del filtro de Arena (46.233 ppm).

En el análisis biológico, en el parámetro Bacterias Heterotróficas, ninguno de los tratamientos cumplió con los valores del LMP, sin embargo, los resultados obtenidos en los filtros fueron significativamente menores al tratamiento control, aunque no presentar diferencias significativas entre ellos. Para los coliformes totales, solo los resultados del filtro de Zeolita fueron diferentes al control. Con respecto a Coliformes Termo-tolerantes y E. coli, todos los tratamientos excedieron el LMP, y tanto los resultados para el filtro de Arena y Zeolita, fueron diferentes al control; sin embargo, los resultados obtenidos del filtro de Zeolita fueron mucho más bajos en este parámetro. En cuanto a Huevos y Larvas de Helmintos, y Quistes de protozoarios patógenos, los resultados no cumplieron con el LMP.

En relación al (ICA) para esta época del año el filtro que presentó mayor eficiencia fue el de zeolita. Por su parte, el de arena no arrojó significativos resultados para el control de calidad.

Época lluviosa (Tabla 2)

Todos los tratamientos para el parámetro de pH, se encontraron por debajo del rango provisto en la normativa peruana (6.5-8.5), además, no se encontraron diferencias significativas entre los filtros y el control. Con respecto a la Conductividad Eléctrica, todos los tratamientos fueron menores al LPM (1500 $\mu\text{mho/cm}$); los resultados de ambos filtros (arena: 48.097a y zeolita: 28.89a) no presentaron diferencias estadísticas, pero ambos, fueron significativamente diferentes al tratamiento control (139.93b). Para el parámetro de Turbiedad, los valores del control (49.803 NTU) se encontraron por encima del LMP (5 NTU). Sin embargo, al utilizar los filtros de arena (1.617 NTUab) y zeolita (0.877 NTUb), se redujeron los valores para este parámetro, dentro del rango aceptable por la normativa. En el parámetro de dureza, todos los tratamientos cumplieron con el LMP (500 ppm), aunque solo los resultados del filtro de Zeolita fueron estadísticamente menores al tratamiento control.

Los valores obtenidos para los parámetros Hierro, Cloruros (Cl^-) y Amonio (NH_4^+), se encontraron dentro del rango aceptable por la normativa, estos no presentaron diferencias significativas en ningún tratamiento. Con respecto a la Alcalinidad (CO_3^{2-} y HCO_3^-), solo los valores del filtro de zeolita fueron iguales al tratamiento control, los resultados para el filtro de arena presentaron valores más elevados en este parámetro. En cuanto a los Std, todos los tratamientos presentaron valores dentro de rango aceptable por la normativa, además, los resultados para cada tipo de filtro mostraron valores significativa menores al tratamiento control; los resultados aplicando el filtro de Zeolita fueron los más adecuados.

Para el análisis biológico, en el parámetro Bacterias Heterotróficas, ninguno de los tratamientos cumplió con los valores del LMP, sin embargo, los resultados obtenidos en los filtros fueron significativamente menores al control, aunque no presentan diferencias significativas entre ellos. Para los coliformes totales, todos los tratamientos se encontraron por debajo del LMP, solo los resultados del filtro de Zeolita fueron diferentes y menores que el tratamiento control. En los parámetros de Coliformes Termo-tolerantes y E. coli, todos los tratamientos excedieron el LMP, y tanto los resultados para el filtro de Arena y Zeolita, fueron diferentes al control; sin embargo, los resultados obtenidos en el filtro de Zeolita fueron los que se acercaron más al LMP. En cuanto a Huevos y Larvas de Helmintos, y Quistes de protozoarios patógenos, los resultados no cumplieron con el LMP, y fueron menores en el filtro de arena.

En cuanto al ICA, el estudio arrojó que ambos filtros presentaron diferencias al control. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en los filtros.

Tabla 1.

Resultados del control, de los filtros de arena y zeolita en época seca de los 15 parámetros medidos. Para las variables numéricas se muestra el promedio con la letra de Tukey (letras diferentes indican diferencia significativa con un alfa de 0.05) y el intervalo de confianza de la media, el cual debe ser menor que el LMP para ser aceptable (celdas de color verde). Para las variables cualitativas se muestra la proporción de repeticiones que son menores al LMP junto a su intervalo de confianza coloreado en verde si cumple con el LMP.

PARÁMETRO	UNIDAD	Arena		Control		Zeolita		Aceptable
		Prom-Prop	CI 95%	Prom-Prop	CI 95%	Prom-Prop	CI 95%	
pH	-	5.247 a	(5.13 - 5.36)	4.613 b	(4.53 - 4.69)	4.473 c	(4.44 - 4.51)	6.5 - 8.5
Conductividad	µmho/cm	90.467 b	(76.27 - 104.66)	126.1 a	(124.31 - 127.89)	43.3 c	(42.44 - 44.16)	1500
Turbiedad	NTU	3.777 b	(0 - 9.19)	10.77 a	(4.68 - 16.86)	0.707 b	(0.21 - 1.2)	5
Dureza	ppm	131.667 a	(47.12 - 216.21)	59.167 b	(55.58 - 62.75)	60.833 b	(30.2 - 91.47)	500
Hierro	ppm	0.1 NS	(0.1 - 0.1)	0.1 NS	(0.1 - 0.1)	0.1 NS	(0.1 - 0.1)	0.3
Cloruros	ppm	38.667 NS	(34.87 - 42.46)	41 NS	(32.04 - 49.96)	40.667 NS	(37.8 - 43.54)	250
Amonio (NH ₄)	ppm	0.013 NS	(0 - 0.03)	0.013 NS	(0 - 0.03)	0.01 NS	(0.01 - 0.01)	1.5
Alcalinidad	ppm	57 a	(52.7 - 61.3)	31.667 b	(27.87 - 35.46)	29.333 b	(27.9 - 30.77)	---

Sólidos Totales Disueltos (STD)	ppm	46.233 b	(43.35 - 49.11)	105.067 a	(93.27 - 116.87)	14.9 c	(11.19 - 18.61)	1000
Bacterias heteretróficas	UFC/ml	1200 b	(0 - 2442.07)	3626.667 a	(2708.77 - 4544.57)	1930 b	(0 - 4233.56)	500
Coliformes totales	NMP/100m l	9266.667 ab	(0 - 25911.01)	56666.667 a	(0 - 141321.96)	1.433 b	(0.67 - 2.19)	≤1.8
Coliformes termotolerantes	NMP/100m l	966.667 b	(823.24 - 1110.09)	20200 a	(0 - 93023.38)	1.267 c	(0.26 - 2.27)	≤1.8
E. Coli	NMP/100m l	966.667 b	(823.24 - 1110.09)	20200 a	(0 - 93023.38)	1.26 c	(0.23 - 2.29)	≤1.8
Huevos y larvas de Helmintos (Strongyloides stercoralis)	N°org/l	0.67	(0.21 - 0.94)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	0
Quistes y o quistes de protozoarios patógenos	N°org/l	0.33	(0.06 - 0.79)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	0

Tabla 2.

Resultados del control y de los filtros de arena y zeolita en época lluviosa de los 15 parámetros medidos. Para las variables numéricas se muestran el promedio con la letra de tukey (letras diferentes indican diferencia significativa con un alfa de 0.05) y el intervalo de confianza de la media, el cual debe ser menor que el LMP para ser aceptable (celdas de color verde). Para las variables cualitativas se muestra la proporción de repeticiones que son menores al LMP junto a su intervalo de confianza coloreado en verde si cumple con el LMP.

PARÁMETRO	UNIDAD	Arena		Control		Zeolita		Aceptable
		Prom-Prop	CI 95%	Prom-Prop	CI 95%	Prom-Prop	CI 95%	
pH	-	5.193 a	(5.04 - 5.35)	5.487 a	(5.36 - 5.61)	5.06 a	(3.77 - 6.35)	6.5 - 8.5
Conductividad	µmho/cm	48.097 b	(43.58 - 52.61)	139.933 a	(108.47 - 171.4)	28.89 b	(14.94 - 42.84)	1500
Turbiedad	NTU	1.617 ab	(0 - 4.44)	49.803 a	(0 - 152.23)	0.877 b	(0.37 - 1.38)	5
Dureza	ppm	81.667 ab	(62.69 - 100.64)	166.667 a	(130.81 - 202.52)	88.333 b	(0 - 242.64)	500
Hierro	ppm	0.35 a	(0.11 - 0.59)	0.487 a	(0.29 - 0.69)	0.087 b	(0 - 0.19)	0.3
Cloruros	ppm	18.667 NS	(17.23 - 20.1)	19 NS	(16.52 - 21.48)	19.333 NS	(16.46 - 22.2)	250
Amonio (NH ₄)	ppm	0.113 NS	(0.06 - 0.17)	0.197 NS	(0 - 0.46)	0.173 NS	(0 - 0.77)	1.5
Alcalinidad	ppm	8.767 a	(5.66 - 11.87)	7.367 ab	(5.75 - 8.98)	5.233 b	(3.37 - 7.1)	---

Sólidos Totales Disueltos (STD)	ppm	13.693 b	(10.76 - 16.63)	69.1 a	(52.88 - 85.32)	3.977 b	(0 - 11.17)	1000
Bacterias heteretróficas	UFC/ml	773.333 a	(0 - 2551.76)	403.333 a	(0 - 1056.02)	141.667 b	(0 - 306.6)	500
Coliformes totales	NMP/100 ml	0	(0 - 0.56)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	≤1.8
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	0	(0 - 0.56)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	≤1.8
E. Coli	NMP/100 ml	0	(0 - 0.56)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	≤1.8
Huevos y larvas de Helmintos (Strongyloides stercoralis)	N°org/l	0.33	(0.06 - 0.79)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	0
Quistes y o quistes de protozoarios patógenos	N°org/l	0.33	(0.06 - 0.79)	1	(0.44 - 1)	1	(0.44 - 1)	0

Discusión

El parámetro de pH, no logró mostrar valores dentro de los estándares exigidos por la normativa nacional con ninguno de los filtros utilizados, en ninguna de las épocas evaluadas; esto se debe, por un lado, a que el material del filtro de arena, presenta gran grosor, porosidad y temperatura, que permiten generar un mayor flujo de agua, y por tanto, arrastre de componentes orgánicos que podrían estar relacionados con el aumento de los niveles de acidez. Por otro lado, el filtro de zeolita, debido a su propiedad de encapsular elementos (metales u óxidos metálicos) también aportan propiedades ácidas, en las épocas evaluadas (Derbe et al., 2021; Gualteros & Piñeros, 2021; Cárdenas – Garza & Rocha – Ríos, 2021). En cuanto a la época lluviosa, ninguno de los filtros fue diferente al control, y esto se debe a que la acidez aumenta como consecuencia del drenaje de aguas y la dispersión de gases por vientos dominantes (Morales et al., 2017; Rado et al., 2021). La mayor presencia de agua, afecta también la estabilidad del suelo, y dispersa componentes que acidifican las aguas, y repercuten en la salud de los pobladores. Este fenómeno no solo altera las aguas superficiales, sino también tendría un efecto sobre la napa freática. (Brousett – Minaya et al., 2021)

Los valores bajos de conductividad eléctrica en los resultados de ambos filtros y el control, se encontraron muy por debajo del límite establecido por la normativa, indicando que, para este parámetro, los métodos utilizados no fueron relevantes. Sin embargo, la estadística mostró evidencias significativamente menores en los filtros frente al control, mostrando incluso menores valores en los tratamientos con zeolita. Esto se debe, en el caso del filtro de arena a su elevada porosidad (Ruiz y Coronado, 2016); y para el filtro de zeolita, porque presenta una estructura compleja y cristalina que le permite cargarse rápidamente de iones en un medio salino, como las aguas depositadas en tanques (Beyoda y Chaparro, 2019; Limache y Tirado, 2022), con la capacidad de interactuar con el medio con un tiempo prolongado, incorporando y liberando muestras líquidas, sin sufrir cambios sustanciales en su estructura (tamices moleculares; Costafreda et al., 2018).

Para la turbiedad, los resultados obtenidos en ambos filtros, fueron diferentes al control (valores más altos que el LMP) y se encontraron dentro de los rangos establecidos en la normativa, garantizando la relevancia de los métodos usados para este parámetro. Esto es debido a que la arena durante la época seca tiene la capacidad de filtrar el agua, permitiendo una mayor filtración, y mejores resultados en la erradicación de partículas que pudieran ser perjudiciales para la salud (Valdés – López et al., 2020). Para la época lluviosa, la turbiedad fue mucho mayor que en época seca, esto es debido a que existe un mayor caudal de agua lo que implica mayor agitación y suspensión de materiales que están contenidos en el suelo como hierro, entre otros

metales (Almazán – Juárez et al., 2016; Tafur et al., 2022). En ambas estaciones los resultados de los filtros utilizados fueron similares, lo que nos indica la relevancia del sistema, aun cuando las condiciones de caudal sean mayores.

Los resultados de los filtros para el parámetro de dureza, aunque estuvieron dentro de los rangos que exige la norma, no fueron relevantes en el estudio durante la época seca, puesto que ambos presentaron mayores valores que el tratamiento control. El filtro de arena, evidenció valores significativamente mayores al control porque en esta estación del año, los sedimentos pierden agua con mayor rapidez, principalmente en forma de vapor por las altas temperaturas (Pérez – Osorio et al., 2016), lo que se relaciona de forma directa con los mayores niveles de dureza (Solís – Castro et al., 2018). Para la época lluviosa el filtro de zeolita fue significativamente menor al control, ya que sus propiedades de absorción e hidratación pueden cambiar tanto por las variaciones de temperatura como las de presión (Rodríguez y Guerrero, 2018). Los valores del control en las dos estaciones evaluadas se encontraron por debajo del límite, indicado que los métodos no son relevantes para este parámetro.

Para metales pesados como el hierro, los resultados del estudio no fueron relevantes para la época seca en los dos filtros utilizados, esto se debe a que la reducción del agua en estas estaciones, permite el aumento de metales, por las características de porosidad y capacidad de intercambio catiónico (Hurtado et al., 2018), los que además tienden a reducir los niveles de acides en la muestra (Cárdenas – Garza y Rocha – Ríos, 2021). Las concentraciones de hierro en estos casos pueden encontrarse en diferentes estados de oxidación o también es posible evidenciarlos formando hidróxidos (Brousett – Minaya et al., 2021), uno de los principales responsables del aumento de bacterias y mala calidad del agua al momento de su circulación (Baque – Mite et al., 2016). Para la época lluviosa, el filtro de zeolita mostró valores significativamente menores, y dentro del rango exigido por la normativa, lo que permite afirmar que el complejo iónico presente en estas estructuras, permitió reducir las concentraciones de hierro, aun cuando en esta época las posibilidades de arrastre de residuos acumulados, deslaves y pérdidas de componentes edáficos por lixiviación o percolación son relativamente mayores (Almazán -Juárez et al., 2016).

Los métodos utilizados no fueron relevantes para los parámetros Cloruros y Amonio, debido a que ninguno de los resultados fue significativo. En cuanto a la concentración de Cloruros, se entiende que estos valores son muy variables en ambientes donde no se controla la población bacteriana, donde los tanques de abastecimiento no han recibido correcto mantenimiento (Morales et al., 2019), o donde hay presencia de aguas residuales producto de la crianza de animales menores (Rodríguez, 2018). Por otro lado, cuando no son estables, es

posible encontrarlos asociados a metales peligrosos para la salud humana como el mercurio (Brousett – Minaya et al., 2021). Aunque las aguas producto de las lluvias pueden ser aceptadas, aún no hay norma que las regule para el consumo humano (Hernández y Chaparro, 2020), debido a que, en zonas como el área estudiada, generan desprendimientos de capas terrestres e incrementan el volumen de agua, lo que muestra como resultado un aumento y variación en las concentraciones de amonio (Almazán – Juárez *et al.*, 2016; Rodríguez, 2018) que puede ser perjudicial para el ambiente.

Los resultados mostraron que ninguno de los filtros utilizados representó un método relevante para el parámetro de alcalinidad, con valores no significativos, e incluso mayores al control. Aunque el filtro de arena es de fácil instalación y manipulación, y es recomendado en estos casos por su bajo costo, y tener la capacidad de mejorar la calidad del agua (Longarela del Hoyo, 2020; Córdoba et al., 2016; Estapé et al., 2021), no demostró ser eficaz en este estudio, y esto se debe principalmente a su baja capacidad de retención.

Para los STD, los resultados en ambas estaciones fueron significativos y menores al control, evidenciando la eficacia del método para este parámetro. Esto se puede atribuir, a las propiedades de filtración de los sistemas utilizados, los cuales presentan mejor rendimiento con muestras contenidas en pozos, donde las aguas residuales se mezclan con aguas de escorrentía (procesos químicos), y otros desechos de origen humano que son potenciales causantes de enfermedades (Córdoba et al., 2016; Estapé et al., 2021).

Para el parámetro Bacterias Heterotróficas ninguno de los tratamientos cumplió con los valores del LMP, para ninguna de las épocas, sin embargo, los resultados obtenidos en los filtros fueron significativamente menores al control. Es decir, tanto el filtro de arena como el de zeolita no fueron eficaces en la erradicación de las bacterias. Durante la época seca las aguas al encontrarse asentadas presentan mayor cantidad de bacterias las cuales pueden generar enfermedades y contaminación microbiana (Piguave-Reyes et al., 2019). Por su parte, durante la época de lluvia existe mayor volumen de agua producto del arrastre de sedimentos y desprendimiento de la capa terrestre, por lo que se hace necesario emplear métodos de desinfección y cloración (Vargas *et al.*, 2021). Por otra parte, si esta agua llega a infiltrarse en el pozo o en los recipientes donde esté contenida puede contaminarlas (Cortez *et al.*, 2019; Tafur *et al.*, 2022).

En cuanto al análisis biológico, el filtro más efectivo fue el de arena, debido a su capacidad en la remoción de turbiedad, entre otras bondades (Córdoba et al., 2016), la misma que es capaz de reducir de forma significativa los altos niveles de contaminación biológica existentes en aguas, como los coliformes fecales y otros agentes

patógenos causantes de enfermedades (Estapé et al., 2021; Torres – Parra et al., 2017), sobre todo en aquellas que no han recibido ningún tipo de tratamiento previo.

Con respecto al ICA, ambos filtros demostraron ser eficientes en este estudio, sin embargo, los mejores valores fueron obtenidos mediante el uso de zeolita, debido a que tienen capacidad de remover sustancias como el nitrógeno amoniacal (Guerrero et al., 2018) y eliminar a través del intercambio iónico compuestos como (ión fosfato) PO_4^{-3} (Vera et al., 2016), que son arrastrados y depositados con regularidad por las lluvias. En cuanto al de arena, presenta partículas porosas que retienen entre sus espacios, agentes que son perjudiciales para la salud (Salgado et al., 2022).

La correlación positiva perfecta entre los parámetros de STD y Conductividad eléctrica, nos confirma que la presencia de metales se relaciona con la conductividad eléctrica en ambas épocas del año, se explica en la estación seca, por la mayor presencia de metales y disminución de agua, y para le estación lluviosa se explica por el mayor desplazamientos y arrastre de aguas que generan también un mayor tránsito de metales cargados (Caho – Rodríguez y López – Barrera, 2017; Beyoda y Chaparro, 2019; Limache y Tirado, 2022). Este mayor desplazamiento de agua, explicaría también la formación de un solo núcleo en el análisis de componentes principales, donde se observa mayor homogeneidad de los resultados del estudio (Castillo et al., 2022).

Conclusiones

Para las condiciones de la zona, V etapa de la ciudad Constitución, Oxapampa, Perú; los filtros de arena y zeolita para el tratamiento de aguas subterráneas de consumo humano, no son relevantes en ninguna época del año para el parámetro de pH, porque generan mayor acidez en las muestras de agua. Además, en parámetros como el Hierro, Cloruros y Amonio, Conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, y bacterias heterotróficas, muestran valores no significativos, o menos importantes que los controles, aunque la Conductividad eléctrica comprende un indicador muy confiable sobre la cantidad de metales presentes en las muestras en cualquier estación del año. Por tanto, con esta investigación, se pueden descartar todos los parámetros mencionados, indicando la relevancia de los filtros de arena y zeolita exclusivamente para la remoción de turbiedad.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Científica del Sur, por financiar parte del proyecto de investigación, entidades y personas que nos brindaron las facilidades para realizar los muestreos dentro de sus instalaciones. Finalmente, agradecemos a nuestros padres que gracias a su esfuerzo y trabajo nos brindaron la oportunidad de estudiar y culminar con éxito el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

Referencias

- Alcívar – Bueno, J., Mariscal – Santi., W., Sorroza – Rojas, N., Villacres – Pastor, R., García – Larreta, F. y Mariscal – García, R. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de pozos. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 183 – 206. <http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.4.jul.%20183-206>
- Almazán – Juárez, M., Almazán – Juárez, A., Carreto – Pérez, B., Hernández, E., Damián – Nava, A. y Almazán – Núñez, C. (2016). Calidad y clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 293 -305.
- ANA (2022). El agua en Cifras. Perú: Paraíso del agua. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Baque – Mite, R., Simba – Ochoa, L., González – Osorio, B., Suatunce, P., Díaz – Ocampo, E. Cadme – Arévalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en el cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109 – 117.
- Betancourt, J., Salcedo, D., Díaz, W. y Betancourt, A. (2021). Desarrollo sostenible: desafíos medioambientales frente a los retos de la cuarta revolución industrial. *Prospectiva*, 19(1), 1-15. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7999818>
- Beyoda, E. y Chaparro, E. (2019). Utilización del agua destilada de mar con energía solar para el cultivo de hortalizas. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 5(número especial), 108 – 114.

Brousett – Minaya, M., Rondan – Sanabria, G., Chirinos – Marroquín, M. y Biamont – Rojas, I. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno – Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 187 – 208. <http://www.scielo.org.bo/scielo>

Caho – Rodríguez, C. y López – Barrera, E. (2017). Determinación del índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca – Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35 – 49.

[Cárdenas – Garza, Z. y Rocha – Ríos, J. \(2021\). Evaluación sistemática de la tecnología de tratamientos fisicoquímicos a base de zeolitas de las aguas residuales generadas por el rastro Tif de Villahermosa Tabasco. *Revista AIDIS*, 14\(4\), 1350 -1367. <http://dx.doi.org/10.22201>](http://dx.doi.org/10.22201)

Castillo, D., Tuesta, L. y Salazar S. (2022). Evaluación de la calidad del agua subterránea durante la pandemia por COVID-19 en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 24 (2), 219 – 234. DOI: www.doi.org/10.36390/telos242.02

[Córdoba, J., Acosta, R., Pacheco, J. y Ramírez, C. \(2016\). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *Revista UNIMINUTO*, 11\(20\), 53-60. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum>](https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum)

Cortez Lázaro, A., Santa Cruz Ventura, A., Hernández Amasifuen, A., & Romero Bozzetta, J. (2019). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en el río Huaura – 2018. *Big Bang Faustiniiano*, 8(4), 17-20. Obtenido de <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/download/556/537/1521>

Costafreda Mugestelier, Jorge., Martín, Domingo. & Costafreda Velázquez, Jorge. (2018). La filtración eficiente de una capa de arena puede incrementarse con la adición de una zeolita. *Las Zeolitas Naturales de Iberoamérica*, 243. Madrid, España.

Cruz, A., Troyo, E., Murillo, J., García, J. y Murillo, B. (2018). Groundwater types and total dissolved solids distribution in the aquifer of La Paz Baja California Sur México. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 39-48. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1>

[Debels, P; Figueroa, R; Urrutia, R; Barra, R; & Niell X. \(2005\). Evaluation of water quality in the Chillán River \(Central Chile\) using physicochemical parameters and modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 110: 301-322](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568866905000322)

[Derbe, T., Temesgen, S. and Bitew, M. \(2021\). A Short Review on Synthesis, Characterization, and Applications of Zeolites. *Advances in*](https://doi.org/10.1007/s12011-021-02100-0)

[Materials Science and Engineering, 2021. Recuperado de https://doi.org/10.1155/2021/6637898](https://doi.org/10.1155/2021/6637898)

[DIGESA. \(2015\). Protocolo de Procedimiento Para la Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Transporte, Almacenamiento y Recepción De Agua Para Consumo Humano. R.D. Nº 160 – 2015/DIGESA/SA.](#)

Espinosa, W. y Bernal, Y. (2019). Uso de la zeolita natural para la protección medio ambiental en áreas agropecuarias de la cuenca del río hanabanilla. *Cub@: Medio Ambiente Y Desarrollo*, 19(37), 1-12. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/274>

[Estapé, P., Maya, O., González, S. y Valero, F. \(2021\). Evaluación del medio filtrante Filtralite como alternativa a la arena en la ETAP Llobregat. *Tecnoagua*, 2-7.](#)

Fernández, N., Solano, F. 2005. Índices de calidad y de contaminación del agua. Ed. Java. Universidad de Pamplona, España. 142 pp.

Galindo, J. C. (2018). *Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano de cuatro comunidades nativas del distrito de Contitución, Oxapampa-Pasco*. 1-81.

Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8. <http://dx.doi.org/10.15446>

Gualteros, D. y Piñeros, S. (2021). *Estudio comparativo entre la capacidad de adsorción del carbón activado y la zeolita para la remoción de nitrógeno amoniacal en lixiviados de un relleno de sanitario*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia].

Guerrero, M., Rodríguez, M., & Vázquez, A. (2018). La zeolita en la descontaminación de aguas reiduales. *Universidad, Ciencias y Tecnología*, 2(1), 109-117. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication>

Gutiérrez, L.R., Quintana, R., Rubio, H., Ortega, J., Pinedo, C. 2008. Índice de calidad del agua en la cuenca baja del río San Pedro, Chihuahua, México. *Rev Latinoam Rec Nat* 4 (2):108-115.

Hernández, D. y Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97-107. DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.4409>

Herrera – Morales, G., Chávez – Cadena, M. y Jiménez – Gutiérrez, M. (2022). Medición de calidad de agua en río Chambo (Ecuador) en un programa educativo experimental. *Información Tecnológica*, 33(2), 59 – 66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200059>

Hurtado, E., Carreño – Mendoza, A., Lucas – Vidal, L., Barrios – Maestre, R. y Silva – Acuña, R. (2018). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, Ecuador. *Revista Ciencia Unemi*, 11(28), 76 – 87. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal>

[Instituto Nacional de Estadística e Informática \(INEI\). \(2019\) Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales ENDES Primer Semestre 2018.pdf](#)». Accedido 2 de enero de 2019. Disponible en: <https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2018/ppr/Indicadores>

Lama, J., Mancilla, L., & Castro, R. (2014). *Enfermedades infecciosas gastrointestinales*. Universidad nacional de Cuyo.

Limache, F. y Tirado, L. (2022). Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 21(1), 29-39. DOI: <http://10.33326/26176033.2022.1.1239>

Longarela del Hoyo, E. (2020). *Rediseño de filtro de bioarena para el tratamiento de agua con el objetivo de facilitar el proceso de fabricación en países en desarrollo*. [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid, Valladolid, España]

Mariscal, W., & Sorroza, N. A. (2017). Physico-chemical and microbiological evaluation of well water quality Avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água bem. 3, 183-206.

[Meléndez, V. G., Quintero, O. C., & Ramirez, N. A. \(2013\). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. Gestión y Ambiente, 16\(1\), 97-107.](#)

Méndez de los Santos, N. y López, G. (2021). Zeolitas nativas en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 10(19), 1-38. DOI: <https://doi.org/10.23913/ciba.v10i19.106>

[MINSA. \(2011\). DS N°031-2019-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 1-46.](#)

Morales, E., Solano, M., Morales, R., Reyes, L., Barrantes, K., Achí, R. y Chacón, L. (2019). Evaluación de la influencia de la estacionalidad climática en calidad del agua de consumo humano en un sistema de abastecimiento en San José, Costa Rica, periodo 2017 – 2018. *Revista costarricense de Salud Pública*, 18(1), 77 – 87.

[Morales, J., Cristancho, M. y Baquero – Rodríguez, G. \(2017\). Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia. Estado del arte. Ingeniería del agua, 21\(3\), 179 – 196. https://doi.org/10.4995/Ia.2017.6939](#)

Olguín, E., González – Portela, R., Sánchez – Galván, G., Zamora – Castro, J. y Owen, T. (2010). Pollution of urban rivers: the case of the river basin of Rio Sordo in Xalapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(2), 178 – 190.

OMS. (2017). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. OMS. Recuperado de <https://www.who.int/es/news/item>

[Ordoñez L. \(2018\). Situación epidemiológica de las enfermedades diarreicas agudas \(EDA\) en el Perú. Boletín Epidemiológico del Perú. 27 \(52\): 1229-1233](#)

Pérez – Osorio, G., Arriola – Morales, J., García – Lucero, T., Saldaña – Blanco, M. y Mendoza – Hernández, J. (2016). Evaluación de la calidad del agua de cuatro jagüeyes del parque estatal “ Flor del Bosque”, Puebla, México. *Ra Ximhal*, 12(4), 135 – 168. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46146927009.pdf>

[Piguave-Reyes, J., Castellanos – González, M., Macías – Avia, A., Vite – Solórzano, F., Ponce – Pibaque, M. y Ávila – Ávila, J. \(2019\). Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil. Revisión Sistemática. *Kasmera*, 47\(2\), 153-173. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3556409>](#)

[Rado, M. S., Zúñiga, J.J. y Rado, B. J. \(2021\). Estudio del pH del agua de lluvia en la Subcuenca Huatanay 2019-2020, departamento de Cusco, Perú. *Revista Científica Guacamaya*, 6\(1\), 48-67. Recuperado de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/guacamaya>](#)

[Ríos – Tobón, S., Agudelo – Cadavid, R. y Gutiérrez – Builes, L. \(2017\). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad de agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 35 \(2\), 236 – 247. DOI: \[10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08\]\(https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08\)](#)

[Rodríguez, E. \(2018\). Nitrógeno en las aguas subterráneas del municipio San Pedro La Laguna, Sololá. *Agua, Saneamiento&Ambiente*, 13\(1\), 17-23.](#)

[Rodríguez, M., Guerrero, M., & Vázquez, A. \(2018\). La zeolita en la descontaminación de aguas residuales.](#)

Román, R., Ortiz, M., Cardona, J. y Pagán, I. (2014). Caracterización de un filtro de lento de arena con un prefiltro de flujo horizontal de grava. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 1(1), 87 – 96.

[Rossel Bernedo, L. J., Bernedo, R., Alberth, L., Mayhua, F., Ferro Gonzales, A. L., & Zapana Quispe, R. R. \(2020\). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana \(coliformes totales y termotolerantes\)](#)

[en el tratamiento de agua potable. Revista de Investigaciones Altoandinas, 22\(1\), 68-77.](#)

Ruiz, A. y Coronado, M. (2016). Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector Chuina, Morales – San Martín – 2015. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo. 2(2), 7-16. DOI: <https://doi.org/10.17162/rictd.v2i2.621>

[Salgado, J., Rodríguez, D. y Peñuela, G. \(2022\). Optimación de un sistema de tratamiento mediante ensayos de tratabilidad para la remoción de materia orgánica en aguas residuales de alta complejidad. Ingenierías USBMed, 13\(1\), 46 – 55. https://revistas.usb.edu.co/index.php/ingUSBmed](#)

[Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. \(2018\). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, 31\(1\), 35-46.](#)

Tafur, N., Torres, E., Robladillo, I., Zeña, J. y Reátegui, P. (2022). Microorganismos patógenos en sistemas de abastecimiento de agua para consumo de asentamientos humanos, Ucayali 2019. Revista de Investigación Universitaria, 12(1), 725 – 737. DOI: <https://doi.org/10.53470/riu.v12i1.72>

[Terrel, P. \(2019\). Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados. Plomo, cadmio, mercurio y arsénico. Instituto Nacional de Salud. , Lima, Perú.](#)

Torres – Parra, C., García – Ubaque, C., García – Ubaque, J.C., García – Vaca, M. y Pacheco – García, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública*, 19(4), 453 – 459. DOI: <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>

[Torres, C., & Villanueva, S. \(2013\). El Filtro de Arena Lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo. En Igarss 2014. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2](#)

Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S. y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17-34. <https://revistas.uis.edu.co/index.php>

[Valdés – López, A., López – Bastida, E., Torres – Calzadilla, O., Rodríguez – Pérez, E. y Aparicio – Ortiz, L. \(2020\). Análisis de los beneficios ambientales de la recuperación de las aguas residuales en el proceso de lavado de arenas. *Tecnología Química*, 40\(3\), 640 – 657. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/scielo>](#)

Vargas, M., Calle, N., Ocaña, C. y Garay, J. (2021). Calidad microbiológica del agua de consumo humano del sector Fila alta – Jaén, 2019. *Revista Pakamuros*, 9(4), 174 – 183. DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.246>

Vera, I., Rojas, M., Chávez, W. y Arriaza, B. (2016). Evaluación de materiales filtrantes para el reúso en aguas en agricultura de aguas residuales tratadas provenientes de zonas áridas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 5-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1633>

Word Health Organization. (2019). Diarrhoeal disease. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>

Zegarra, A. (2017a). *Dispersión de Contaminantes Biológicos en las aguas subterráneas de la zona sur de la ciudad de Juliaca - 2017*. [Tesis doctoral, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle>

Zegarra, A. (2017b). Evaluación de agua no tratada de pozos, en la zona sur de la ciudad de Juliaca, 2017. *Revista Científica "Investigación Andina"*, 17(1), 207-216. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle>



Jiutepec, Morelos, a 19 de octubre de 2022

EDWAR TUCTO CUEVA
GRECIA OSCCO MEDINA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR, PERÚ
ARMANDO VÉLEZ AZAÑERO
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL, PERÚ
P R E S E N T E

Con esta fecha recibimos en nuestra redacción su trabajo "Tratamiento de aguas subterráneas mediante filtros de zeolita y arena" y la carta de originalidad respectiva.

Apreciamos su colaboración. De acuerdo con la Política Editorial de *Tecnología y ciencias del agua*, su texto será sometido a un proceso de revisión del cual les estaremos informando.

Sin más por el momento, les reitero nuestro agradecimiento por habernos distinguido con su confianza.

ATENTAMENTE
LA COORDINADORA EDITORIAL



LIC. HELENA RIVAS LÓPEZ

Paseo Casafrahuas 6510, Progreso, 62550 Jiutepec, Morelos, México. Teléfono: + (52) (777) 329 3600, exts. 532 y 605, fax: 329 3670 y 329 3681, Coordinación editorial y proceso de arbitraje: postulacion@tecicimta.mx, suscripciones: comercializacion@tecicimta.mx. Registrada en Thomson Reuters Science Citation Index® (SCI) - Expanded Thomson Reuters Research Alert® (RA) - Índice de revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2013-2018) - EBSCO (Fuente Académica Premier NISC: Geosystems, como Medio, Georegistro and Freshwater Resources) - ProQuest (Cambridge Scientific Abstracts) - Elsevier (Fluid Abstracts: Process Engineering; Fluid Abstracts: Civil Engineering) - CAS Abstracts, CAS Internacional - Latindex (Redes Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), Universidad Nacional Autónoma de México - Periodica (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), Universidad Nacional Autónoma de México - Catálogo Heix (Hemeroteca Latinoamericana), Universidad Nacional Autónoma de México - Actualidad Iberoamericana, CIT-IL, Instituto Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología - Sistema de Información Científica Redalyc, Universidad Autónoma del Estado de México. Otras fuentes: también puede encontrarse su sitio en Google académico.

Paseo Casafrahuas No. 6511, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.
Tel.: (777) 329 3600 - www.gob.mx/imta

