



Monitoreo de aguas residuales y evaluación del cumplimiento de Valores Máximos Admisibles (VMA) en colectores primarios del área de drenaje de una planta de tratamiento



ARTICULO ORIGINAL

Monitoreo de aguas residuales en colectores primarios del área de drenaje de una planta de tratamiento, Lima (Perú)

Wastewater monitoring and evaluation of compliance with Maximum Allowable Values (MAV) in primary collectors of the drainage area of a wastewater treatment plant

Enzo Martin Casimiro Soriano^{1*} , Betty Chung Tong² , Daniel Gustavo Cárdenas Pinto³ 

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar las áreas críticas de drenaje de aguas residuales de una planta de tratamiento (PTAR) de Puente Piedra en Lima. Para ello se consideró la posición geográfica, el número de Usuarios No Domésticos (UND) y la identificación de los mismos en áreas críticas según vertimientos extremos. En las áreas críticas se establecieron 5 puntos de monitoreo de aguas residuales, correspondientes a buzones de desagüe, donde se evaluó el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles (VMA) del D.S. 021-2009- VIVIENDA. La campaña de muestreo abarcó un periodo de control de 8 horas con monitoreos puntuales realizados cada 2 horas. En el punto de monitoreo AD-20C – Punto BZ-70651 y AD-20C – Punto BZ-59124 se encontró exceso en los VMA para pH (>14), DBO5, DQO, SST, aceites y grasas a causa de presencia de industrias textiles y de fabricación de papel, AD-14 – Punto BZ-212339 se encontró exceso DBO5, DQO, SST, aceites y grasas, sólidos sedimentables a causa de material orgánico, a causa de comercios, restaurantes y domésticos, AD-23 – Punto BZ-46847 no hay exceso los VMA, AD-25 – Punto BZ-212344 excede DBO5 a causa de descargas de comercios, usuarios domésticos e industrias. Se recomienda extender la aplicación de la normativa, considerando los parámetros de análisis biológico, mejorar la fiscalización de los UND en el área de drenaje, establecimiento de estaciones de monitoreo continuo y replicar el procedimiento descrito a otras áreas de drenaje de PTAR para la optimización de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales; Planta de tratamiento; áreas; monitoreo.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the critical areas of wastewater drainage of a wastewater treatment plant (WWTP) of Puente Piedra in Lima. For this purpose, the geographical position, the number of non-domestic users (NDUs) and their identification in critical areas according to extreme discharges were considered. In the critical areas, 5 wastewater monitoring points were established, corresponding to sewage inlets, where compliance with the Maximum Allowable Values (MAV) of the D.S. 021-2009- VIVIENDA was evaluated. The sampling campaign covered a control period of 8 hours with spot monitoring carried out every 2 hours. At monitoring points AD-20C - Point BZ-70651 and AD-20C - Point BZ-59124, excess AMVs were found for pH (>14), BOD5, COD, TSS, oils and greases due to the presence of textile and paper manufacturing industries; at AD-14 - Point BZ-212339, excess BOD5, COD, TSS, oils and greases, solids, solids and grease were found for pH (>14), BOD5, COD, TSS, oils and greases, solids and greases, TSS, oils and grease, settleable solids due to organic material, due to commercial, restaurant and domestic, AD-23 - Point BZ-46847 there is no excess of AMVs, AD-25 - Point BZ-212344 exceeds BOD5 due to discharges from commercial, domestic and industrial users. It is recommended to extend the application of the regulations, considering the biological analysis parameters, improve the control of the UND in the drainage area, establish continuous monitoring stations and replicate the described procedure to other PTA drainage areas.

Keywords: Wastewater; Treatment plant; áreas; monitoring

¹ Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Chanchamayo, Perú.

² Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

³ Municipalidad Distrital de Miraflores, Lima, Perú.

*Autor de correspondencia.
E-mail:
ecasimiroSORIANO@gmail.com

Recibido: 15 de Jun de 2023
Aprobado: 07 de Jul de 2023
Publicado: 26 de Jul de 2023

Para citar este artículo:

Casimiro Soriano E., Chung Tong B., Cárdenas Pinto D. (2023). Monitoreo de aguas residuales y evaluación del cumplimiento de Valores Máximos Admisibles (VMA) en colectores primarios del área de drenaje de una planta de tratamiento. *Yotantsipanko*, 3(1), 19 – 36. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.27>



Introducción

Las aguas residuales se caracterizan por su composición fisicoquímica y biológica, determinados por los contaminantes presentes en ellas (Mojiri & Bashir, 2022). Entre los contaminantes de origen antropogénico, se encuentran la materia orgánica (Shon et al., 2006), sustancias indeseables, elementos tóxicos (Gardner et al., 2012) y afectación térmica (Vallero, 2019).

Las normas que regulan los tratamientos de aguas residuales en el alcantarillado público están basadas en las tasas de eliminación de materia orgánica, sólidos en suspensión, metales pesados, sólidos inorgánicos disueltos y patógenos presentes (MVS, 2009; OEFA, 2014). Gran parte de la normatividad, incluye el control de la eliminación de nutrientes y contaminantes prioritarios.

La normativa legal relacionada al control de las descargas de aguas residuales al alcantarillado tiene el objetivo de evitar los efectos perjudiciales de los contaminantes en la infraestructura sanitaria, plantas de tratamiento y en la salud de las personas. En el Perú, la normativa relacionada al control de las aguas residuales vincula a los gobiernos locales, las Entidades Prestadoras de Servicios (EPS) e instituciones reguladoras, como el ANA (Autoridad Nacional del Agua), OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) y SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios

de Saneamiento). El ente rector del Estado en materia de saneamiento es el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

En el año 2009, el MVCS publicó el Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA, la cual es una norma de alcance nacional que regula las descargas de aguas residuales no domésticas. Sus modificatorias, normativa complementaria y reglamento (D.S N°003-2011-VIVIENDA), establecen procedimientos de evaluación, control y sanción sobre aspectos relacionados con los valores máximos admisibles (VMA). Los VMA son límites de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que será descargado a la red de alcantarillado sanitario, los cuales al ser excedidos causan daño generan muchos impactos negativos.

A pesar de la normatividad vigente y el fortalecimiento de la gestión del agua en Perú, así como su tratamiento, reúso y disposición, los estándares diseñados no se llegan a cumplir por ausencia de capacidad logística, administrativa o de infraestructura en su aplicación (Paucar & Iturregui, 2020). Esto es notable en las zonas de elevada densidad poblacional en la capital, como los distritos de San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Ate y Comas y sus respectivas plantas de tratamiento (INEI, 2022). Por lo que se requieren de estrategias de monitoreo eficaces que permitan diseñar medidas realistas y

eficaces para la administración de las aguas residuales.

El área de drenaje de la planta de Tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra (PTAR Puente Piedra) comprende las redes de alcantarillado de los distritos de Puente Piedra y Carabaylo en región Lima y Callao en el Perú. En menor grado, recibe de las descargas de las poblaciones de Ventanilla y Mi Perú.

Las aguas residuales del área de drenaje son recibidas por las redes de alcantarillado sanitario a través de los colectores secundarios y primarios. Finalmente, estos descargan en el colector principal Puente Piedra, el cual conduce el agua residual hacia la PTAR Puente Piedra. La PTAR posee un sistema de desbaste y lodos activados para la eliminación de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y materia orgánica antes de liberar el agua tratada al río Chillón.

En relación a ello, el objetivo de la investigación es evaluar las aguas residuales y realizar un análisis fisicoquímico en la zona de influencia de la PTAR Puente Piedra en base a los VMA, mismo que nos permitirá diseñar estrategias para el control de las aguas residuales.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se desarrolló en la zona de drenaje de la PTAR Puente Piedra cuya ubicación en coordenadas UTM es 8677000-8695000 N y 0268400-281500E, correspondiente a los distritos de Ventanilla y Puente Piedra (Figura 1). Ambos distritos se identifican como “cono norte”. La zona está principalmente ocupada por viviendas y en menor proporción por industrias y comercios de alimentos, textiles, productos químicos, entre otros.

La zona posee un clima semi-árido típico de las costas peruanas.



Figura 1. Ubicación de los Distritos Ventanilla y Lima correspondientes al área de drenaje de la PTAR Puente Piedra.

Campaña de monitoreo

El monitoreo de aguas residuales se desarrolló en 5 puntos (buzones de descarga) distribuidos en 4 áreas de drenaje que describen en la Tabla 1. Los puntos fueron seleccionados tomando de base el catastro comercial de Usuarios de SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima). Se consideraron los mayores volúmenes de caudal, mayor número de usuarios no domésticos, presencia de

usuarios industriales, fábricas de alto consumo de agua potable y puntos en los cuales se determinó alta carga de contaminantes en monitoreo de control previos.

Las áreas de drenaje general y la ubicación referencial de los puntos de monitoreo se muestran en la Figura 2. El enfoque del estudio fue evaluar el cumplimiento de los VMA en los colectores primarios que llegan a las plantas de tratamiento.

Tabla 1.

Ubicación de puntos de monitoreo en las áreas críticas.

Área de drenaje	Punto de monitoreo	Coordenadas del punto y ubicación referencial
AD-20C	BZ-70651	18L 0274588E / 8687351 N. Calle San Genaro, cruce con la Calle 14 (a 80 m de la Av. Sta. Josefina)
	BZ-59124	18L 0274610E / 8687097 N. Av. Las Vegas cruce con Santa Josefina (frente a empresa textil)
AD-14	BZ-212339	18L 0272003E / 8678427N. Av. San Diego de Alcalá (frente a parque recreativo Prusad)
AD-23	BZ-46847	18L 0274733E / 8684545 N. Calle 2 cruce con la Auxiliar de la carretera Panamericana Norte (en medio de la carretera)
AD-25	BZ-212344	18L 0271968E / 8678219 N. Av. San Diego de Alcalá, cruce con Av. Santa Clara (frente a la bomba de agua municipal)

El monitoreo se realizó entre noviembre y marzo de 2017. En cada punto se tomaron 4 muestras puntuales a intervalos de 2 horas cada uno desde las 10:00 h hasta las 18:00 h, los cuales fueron periodos de mayor liberación de afluentes. Los resultados fueron analizados por triplicado, incluyendo una muestra en custodia.

Procedimientos

El procedimiento de monitoreo se realizó considerando los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales (AWWA, 2017). Se muestrearon volúmenes de 1 L de agua residual, luego fueron almacenados en recipientes de polietileno opaco, luego fueron conservados químicamente con soluciones

diluidas de NaOH ($\text{pH} > 12$ para cianuros y $\text{pH} > 9$ para sulfuros), H_2SO_4 ($\text{pH} < 2$ para Aceites y grasas, DQO, nitrógeno amoniacal), HNO_3 ($\text{pH} < 2$ para metales pesados) y refrigerados (DBO, Cr^{6+} ,

sulfatos, sólidos solubles totales y fosfatos) para su análisis en laboratorio. Los parámetros de pH, temperatura y Sólidos Sedimentables fueron determinados durante el monitoreo.

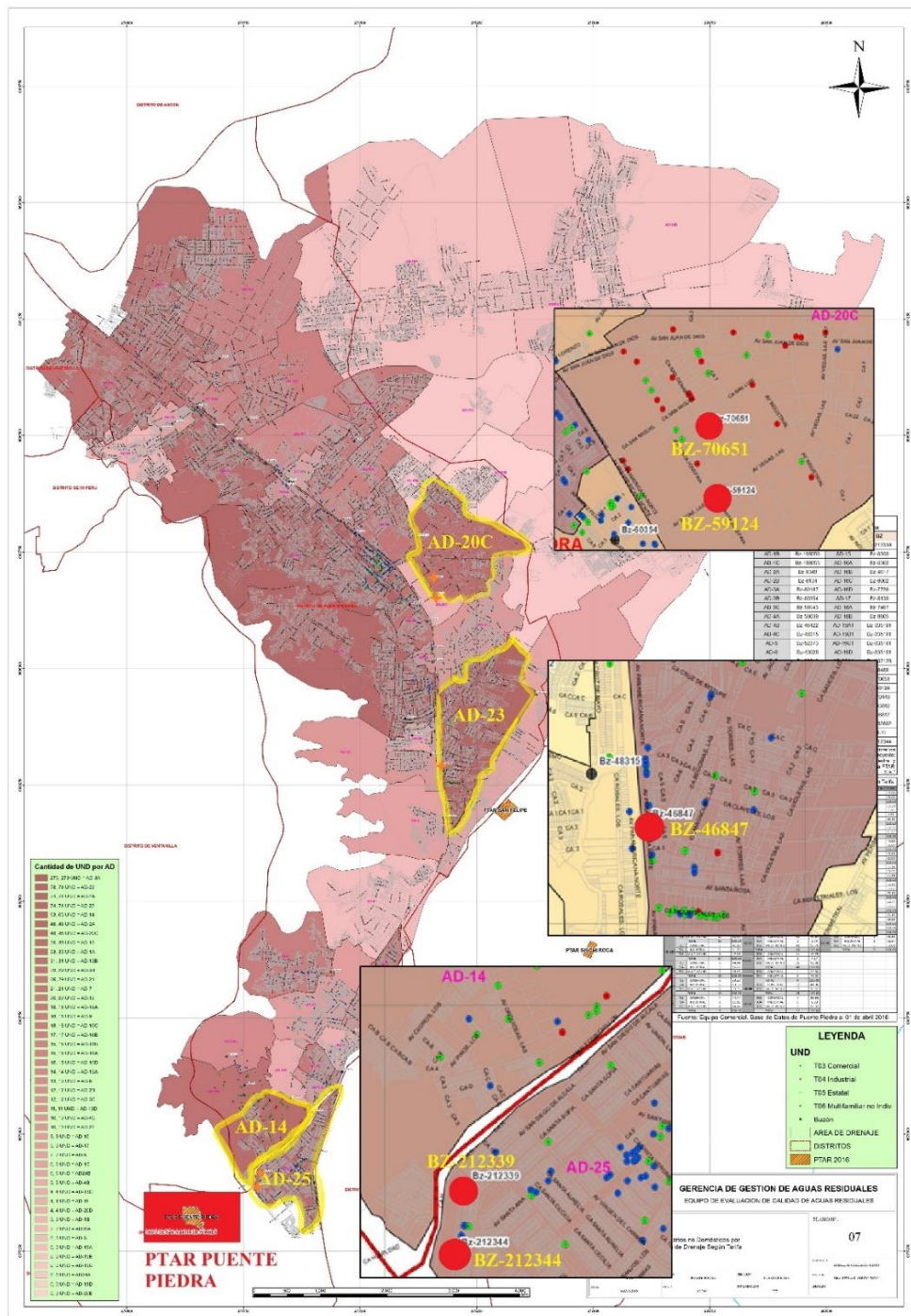


Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo de la zona de drenaje de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra, Perú

Análisis de muestras

Las muestras fueron analizadas dentro de las próximas 48 horas posteriores a su muestreo, de

acuerdo a los protocolos descritos por la AWWA (2017) u otros correspondientes, que aseguraron la calidad de las medidas. Los procedimientos específicos de análisis se describen en la Tabla 2.

Tabla 2.

Parámetros analizados y referencias de análisis fisicoquímico con base en el método estándar.

Parámetro	Unidad	Expresión	Referencia de análisis fisicoquímico
Demanda biológica de oxígeno	mg/L	DBO	Método estándar 5210, por titulación de oxígeno disuelto en un periodo de 5 días posterior a incubación a 20°C.
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DQO	Método estándar 5220, por titulación espectrofotométrica de dicromato.
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	Método estándar 2540D, por filtración de líquido y medición de diferencia de peso de filtro
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	Método estándar 5520, gravimétrico, por extracción de lípidos con hexano y posterior evaporación de solvente.
Cianuro	mg/L	CN	Método estándar 4500, espectrofotométrico por formación de complejos metálicos.
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	Método estándar 3500, por colorimetría
Aluminio	mg/L	Al	
Arsénico	mg/L	As	
Boro	mg/L	B	
Cadmio	mg/L	Cd	
Cobre	mg/L	Cu	
Cromo total	mg/L	Cr	Método estándar 3125 para análisis de metales por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente.
Manganeso	mg/L	Mn	
Mercurio	mg/L	Hg	
Níquel	mg/L	Ni	
Plomo	mg/L	Pb	
Zinc	mg/L	Zn	
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	Método ASTM: D516, por precipitación como sulfato de bario y análisis turbidimétrico.
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	Método estándar 4500-S, que analiza la concentración por colorimetría de azul de metileno.
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	Método estándar 4500-N, por titulación con ácido sulfúrico empleando un indicador de azul de metileno.
pH (α)	unidad	pH	Método estándar 4500-H, método potenciométrico.
Sólidos sedimentables	mL/L/h	S.S.	Método estándar 2540, por gravimetría con papel de filtro en periodo de tiempo.
Temperatura (α)	°C	T	Método 2550, por medición directa.

Análisis de datos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron registrados en bases de datos de MS Excel, luego promediados y comparados con los VMA del D.S. 021-2009-VIVIENDA empleando gráficos de frecuencias.

Resultados

En el caso de los parámetros DQO, DBO, SST y A&G, la evaluación del cumplimiento de los VMA en función de la hora de monitoreo se muestra en la Figura 3. En ninguno de los casos se ha sobrepasado los VMA.

La carga de materia orgánica biodegradable y no biodegradable en BZ-70651 es mayor a las 10:00 h, llegando a un mínimo a las 14:00 h, luego se incrementa a las 16:00 h. Ello concuerda con el ciclo productivo de las empresas en el área de drenaje. Para el área AD-20C – Punto BZ-59124, ninguna de las muestras sobrepasó los VMA; sin embargo, en la última hora, se observó un incremento resultado de la descarga repentina de las industrias en el área.

En AD-14 – Punto BZ-212339, el efluente no cumplió con los VMA para los parámetros DBO,

DQO y SST entre las 10:00 y 12:00 h con una reducción de contaminantes en este intervalo. A las 16:00 h solo el DQO excede los VMA.

La concentración de A&G se mantuvo debajo de los VMA durante todo el periodo de monitoreo. Por otra parte, en el AD-23 – Punto BZ-46847, ninguno de los parámetros analizados del Anexo 1 sobrepasó los VMA respectivo en las horas de monitoreo.

La concentración y presencia de materia orgánica se incrementó progresivamente desde las 12:00 h - 16:00 h, evidenciando que la mayor parte de las descargas se realizan en horas de la tarde.

En el AD-25 – Punto BZ-212344 se observó que los parámetros DQO, SST y A&G no sobrepasaron los VMA respectivos durante todo el monitoreo. Sin embargo, la DBO5 sobrepasó los VMA entre las 10:00-12:00 h. Adicionalmente se observó que la concentración de los parámetros DBO, DQO y SST disminuye con el tiempo, con periodos de fluctuación leves, entre las 12:00 h y 14:00 h. Por otra parte, la concentración de A&G no posee una variación significativa, aunque tiende a incrementarse a las 16:00 h.

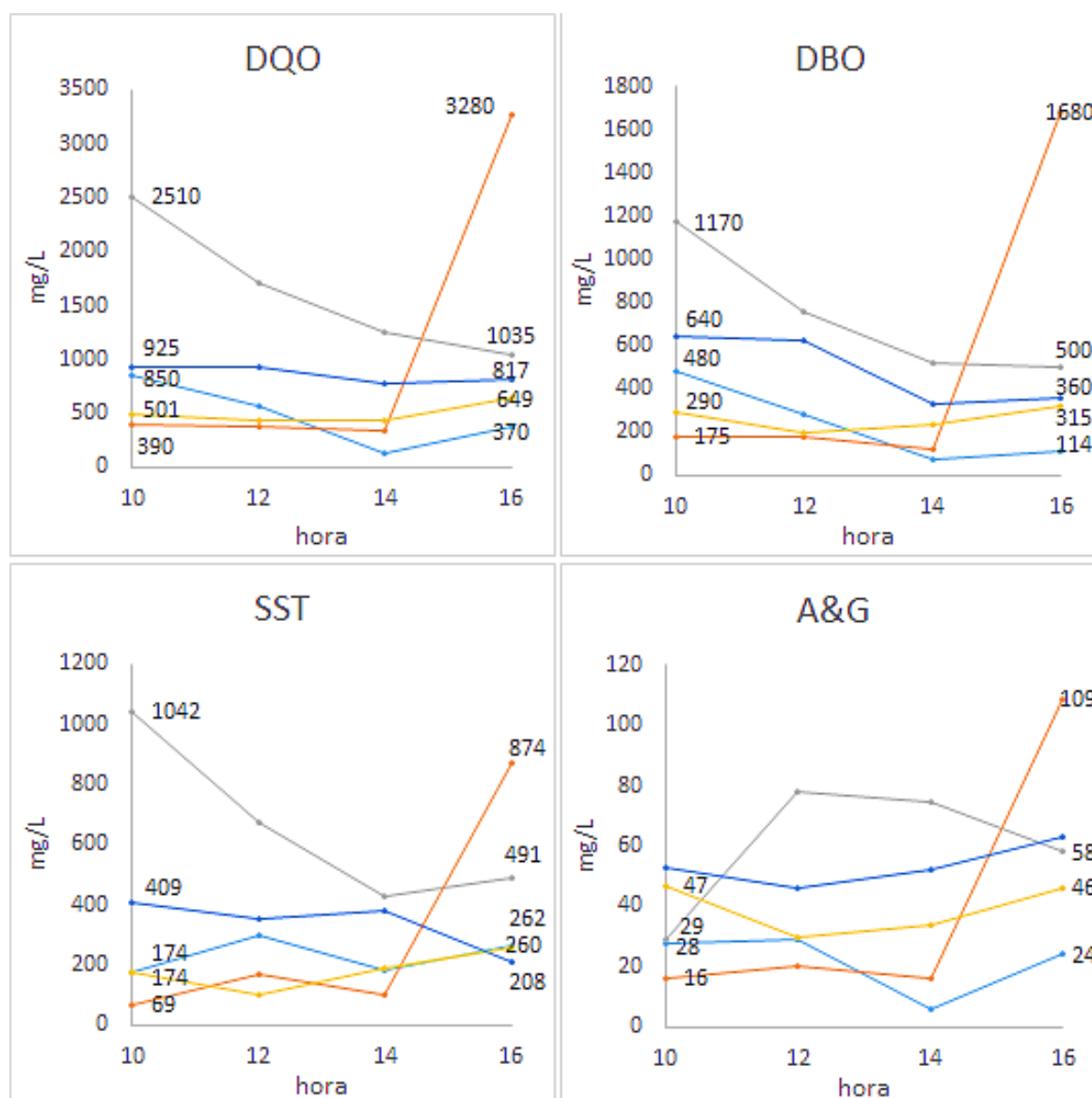


Figura 3. Variación de la concentración de parámetros de DQO, DBO, SST y A&G en los 5 puntos evaluados de la zona de drenaje del PTAR Puente Piedra, Perú. Código de colores: (---) BZ-212339, (---) BZ-212344, (---) BZ-46847, (---) BZ-59124; (---) BZ-70651.

Respecto a los demás parámetros, en el Punto BZ-70651 se ha determinado que la concentración de los metales As, Cd, Cr⁶⁺ y Hg fueron menores al límite de detección respectivo y no sobrepasaron los VMA correspondientes. La concentración de los metales Al, B, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn no sobrepasaron los VMA, sin embargo, sus

concentraciones se incrementaron cerca de las 10:00 h por liberación de descargas de la actividad industrial. Las concentraciones de los parámetros no metálicos CN⁻, S²⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺ y SS no sobrepasaron los VMA y también fueron mayores entre las 10:00 h y 12:00 h. La temperatura del agua residual se mantuvo sin

una variación notable y cumplió los VMA. Los parámetros que muestran incumplimiento fueron el Cobre total (VMA 3 mg/L) y pH (VMA 6-9).

En el punto BZ-59124 se observó que la concentración de los metales As, Cd, Cr⁶⁺, Hg y S²⁻ fueron menores al límite de detección respectivo. La concentración de los metales Al, B, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn no sobrepasaron los VMA, luego sus concentraciones se incrementaron a las 16:20 h, por liberación de descargas industriales.

Las concentraciones de CN⁻, SO₄²⁻ y NH₄⁺ no pasaron los VMA correspondientes, fluctuando durante todo el periodo de muestreo. La T del agua residual no sufrió variación notable y cumple el VMA. Por otra parte, la variación de los parámetros que muestran incumplimiento de los VMA se muestran en la **Figura 4**. La muestra de las 12:20 h, sobrepasó los VMA del Cu y pH, debido a la descarga de las empresas de origen textil y de fabricación de papel. Al igual que para los parámetros del Anexo 1, el volumen de SS mostró crecimiento a las 16:20 h, proveniente de las descargas conjuntas de las industrias presentes en el área.

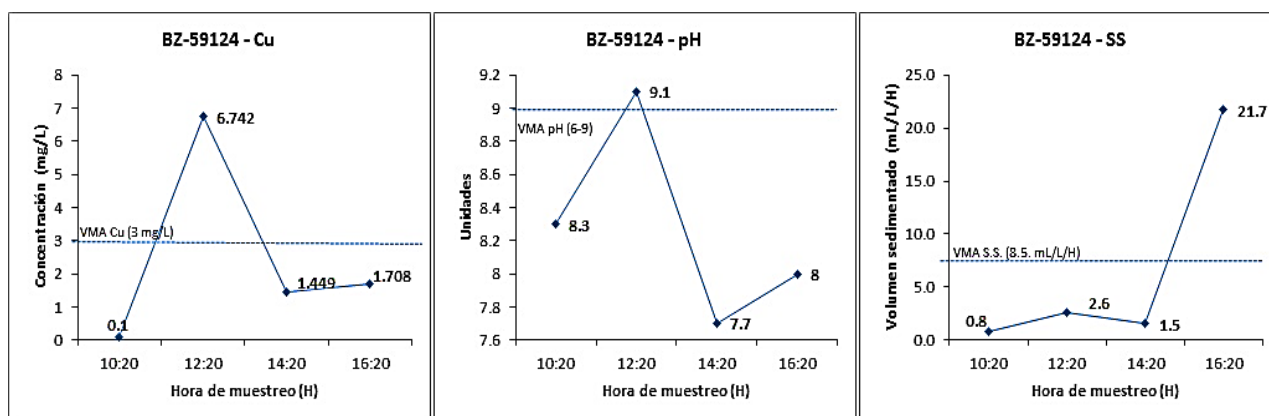


Figura 4. Variación de la concentración de parámetros de Cu, pH y SS para el punto BZ-59124 de la zona de drenaje del PTAR Puente Piedra, Perú

En el punto BZ-212339 se determinó que la concentración de los metales As, Cr y Hg fueron menores al límite de detección respectivo. La concentración de Al, B, Cu y Ni tuvieron sus concentraciones más elevadas entre las 10:20 - 12:20 h, relacionados a las descargas de origen

comercial. Por otra parte, los metales Cd, Cr, Mn, Pb y Zn tuvieron su concentración más elevada a las 16:20 h, cuando se descargaron efluentes industriales. La concentración de CN⁻ alcanzó su valor máximo a las 16:20 h, SO₄²⁻ a las 12:20 h, mientras que los parámetros S²⁻ y NH₄⁺

alcanzaron su máximo valor de concentración a las 14:20 h. Los valores de pH y T no presentaron variación en relación al tiempo de monitoreo. En ningún caso se excedieron los VMA correspondientes. Sin embargo, se observó que existió exceso de los VMA para el parámetro de SS siendo mayor desde las 10:20 y 12:20 h.

En el punto BZ-46847 la concentración de los metales As, Cd, Cr⁶⁺, Hg y Ni; así como la concentración de los parámetros CN⁻ y S²⁻, fueron menores al límite de detección respectivo. Las concentraciones de los metales Al, B, Cu, Cr, Mn, Pb y Zn alcanzaron su concentración más elevada entre las 14:00 y 16:00 h. Los parámetros SO₄²⁻, NH₄⁺ y SS alcanzaron su máximo valor de concentración a las 16:00 h, aunque el incremento fue ligeramente significativo. Los valores de pH y T cumplieron con los VMA y no presentaron variación significativa en relación a la hora de monitoreo. En ningún caso se excedieron los VMA correspondientes.

En el punto BZ-212344 la concentración de los metales As y Cr⁶⁺ fueron menores al límite de detección respectivo. La concentración de Al, Cd y Pb tuvieron su concentración más elevada en las muestras tomadas a las 10:00 h. Los metales Cu, Cr, Mn, Hg, Ni y Zn alcanzaron su máximo valor de concentración entre las 12:00 y 14:00 h y B tuvo su mayor concentración a las 16:00 h. Los parámetros S²⁻, NH₄⁺ y SS presentaron sus valores más altos a las 10:00 h, mientras que CN⁻

y SO₄²⁻ presentaron su valor más elevado entre las 12:00 y 14:00 h. Los valores de pH y T no presentaron una variación significativa en relación a la hora de monitoreo. No se sobrepasaron los VMA correspondientes.

Discusión

La composición física, química y biológica de las aguas residuales son elementos que caracterizan su calidad y probidad para su tratamiento (Petrie et al., 2015; Mojiri & Bashir, 2022).

Los contaminantes antropogénicos pueden incluir a la materia orgánica, sustancias suspendidas indeseables, sólidos y elementos tóxicos (Gardner et al., 2012). Las normas nacionales e internacionales que regulan los tratamientos de aguas residuales en el alcantarillado público están basadas en las tasas de eliminación de materia orgánica, sólidos en suspensión, metales pesados, sólidos inorgánicos disueltos y patógenos presentes (Fu y Wang, 2011; Pignatello et al., 2006). Gran parte de la normatividad, incluye el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios para su tratamiento.

En relación a los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual, se tienen a: (i) los sólidos en suspensión que contribuyen al desarrollo de depósitos de fangos y condiciones anaerobias; (ii) materia orgánica biodegradable compuesta por proteínas, carbohidratos y grasas

de origen animal y vegetal, que empobrecen de oxígeno el agua y desarrollan condiciones sépticas; (iii) patógenos que transmiten enfermedades infecto contagiosas; (iv) el nitrógeno, fósforo y carbono que promueven el crecimiento de formas de vida indeseables; (v) materia orgánica refractaria que tiende a revertir los métodos convencionales de tratamiento, como agentes termoactivos, fenoles y pesticidas; (vi) metales pesados, cuya ingesta provoca intoxicación y dañan la infraestructura sanitaria participando en la corrosión y obstrucción de tuberías; y (vii) las sales de calcio, sodio y sulfatos que se añaden las aguas industriales para su uso en determinados procesos. Al descargarse en el alcantarillado, alteran el pH de las aguas residuales, provocando corrosión o formación de carbonatos insolubles en las tuberías (Petrie et al., 2015; Shon et al., 2006).

Para explicar las diferencias de concentración en los puntos de monitoreo, se realizó la caracterización de usuarios en las áreas críticas

de drenaje de la PTAR Puente Piedra, como se muestra en la Tabla 3. Los puntos de monitoreo fueron parte del recorrido de los colectores primarios que reciben las descargas de las áreas de drenaje.

En la tabla se observa que los puntos BZ-70651 y BZ-59124 corresponden a una zona de alta descarga industrial (AD-20C), motivo por el cual existió un mayor exceso de VMA en sus parámetros. La concentración de SST y A&G están relacionados a la descarga constante de los procesos industriales, baños y comedores que representan gran cantidad de material orgánico biodegradable, sustancias oxidantes, sólidos y compuestos grasos diversos (Yu et al., 2017).

A pesar de existir técnicas de tratamiento como trampas de grasa y plantas de tratamiento de aguas en las industrias, mercados y restaurantes (principalmente lagunas de oxidación y sedimentación), se ha evidenciado que el elevado volumen de contaminantes limita su efectividad (Adetunji et al., 2021).

Tabla 3.*Características y presencia de actividades económicas en las áreas de drenaje monitoreadas.*

Área de drenaje	Distribución tarifaria	Características y actividades económicas que se desarrollan en el punto de monitoreo
AD-20C (BZ-70651 y BZ-59124)	Comercial.....31% Industrial.....56% Multifamiliar...13%	Comprende las descargas de la Urbanización Las Vegas. En la zona se identificaron fábricas de: (i) detergentes y jabones, (ii) textiles, (iii) alimentos para animales domésticos, (iv) avícolas, (v) manufactura de papel e (vi) insecticidas. Las mismas poseen comedores con afluencia de 50 a 200 personas durante la tarde. Presentaron alto volumen de descarga.
AD-14 (BZ-212339)	Comercial.....54% Industrial.....30% Multifamiliar...16%	Comprende las descargas de usuarios en dirección sur al río Chillón. Se identificaron: (i) fábricas de alimentos cárnicos enlatados, (ii) restaurantes de comida tradicional y rápida, (iii) mercados de abastos y alimentos y (iv) galerías comerciales sin procesos húmedos significativos. Presentaron alto volumen de descarga.
AD-23 (BZ-46847)	Comercial.....47% Industrial.....9% Multifamiliar....44%	Comprende las descargas que provienen de la Calle Industrial y Av. Las Torres. Se encontró la presencia de (i) mercados, (ii) restaurantes de comida rápida y tradicional, y (iii) comercios sin procesos húmedos. Asimismo, se encontró un elevado número de predios multifamiliares (edificios, hoteles, complejos de habitaciones y otros de más de 2 pisos) con descargas domésticas abundantes. El volumen de descarga fue regular.
AD-25 (BZ-212344)	Comercial.....41% Industrial.....2% Multifamiliar....57%	Descargas de predios alrededor de la Av. Malecón Chillón y San Diego de Alcalá. Se identificaron principalmente: (i) restaurantes de comida tradicional y rápida y (ii) comercios sin procesos húmedos o con uso limitado de agua. En su mayoría comprendió predios multifamiliares con descargas de tipo doméstico abundante. Se encontró regular volumen de descarga.

Los excesos en la concentración de Cobre se deben a su uso como insumo de las industrias textiles, los cuales son descartados como excedentes principalmente (Liu et al., 2023). Por otra parte, el incremento del pH es el resultado del uso de NaClO, NaOH, KOH y otras bases fuertes concentradas en los procesos de blanqueamiento de papel y tratamientos textiles (Kansal et al., 2011).

Es necesario resaltar que en el punto BZ-59124, para la toma de muestra a las 16 h, todos los

parámetros sobrepasaron los VMA con diferencia, respecto del curso regular del día, lo que evidencia la descarga repentina de las industrias presentes en el área en horas determinadas, incluso durante la tarde y noche. En el mismo punto se encontró una concentración elevada de SS proveniente de las descargas conjuntas de las industrias presentes. Siendo uno de los principales contaminantes del agua residual y limitante en el desarrollo de estrategias de tratamiento (Verma et al., 2013), su identificación y control es necesario. Si bien la

estrategia de monitoreo empleada fue efectiva para la zona de estudio, en el periodo de tiempo de análisis, otros estudios recomiendan ampliar el periodo de muestreo considerando un mayor número de días (Liukkonen et al., 2013) para tener una medición representativa.

En el punto BZ-212339 (AD-14) existe una mayor proporción de usuarios comerciales, con bajos volúmenes de descarga individuales. Puesto que los residuos fueron no industriales (restos de comida y desechos humanos, principalmente), no se evidenció la presencia significativa de contaminantes, siendo su mayor actividad en las mañanas y noches.

Es necesario destacar el papel de los restaurantes como generadores de contaminantes. Dependiendo del rubro, regularmente los restaurantes que producen mayor volumen de contaminantes en aceites, grasas y residuos sólidos son aquellos de comida china y comida rápida (Yau et al., 2021). En el caso peruano, la abundancia de pollerías y chifas en la zona pudo ser causante de los contaminantes encontrados.

Se encontró una baja proporción de materia orgánica y SS en todo el periodo de monitoreo, con un pico entre las 10-12 h por presencia de partículas sedimentables abundantes producto de alimentos y desechos domésticos. A las 16:00 h solo el DQO excedió los VMA por incremento de las actividades comerciales.

En el punto BZ-46847 (AD-23) ninguno de los parámetros analizados sobrepasó los VMA respectivo debido a la composición de los predios (91% eran comerciales, restaurantes y multifamiliares) y ausencia significativa de industrias con descargas contaminantes. Las mayores concentraciones de materia orgánica (medidos como DBO5 y A&G) se observaron entre las 12:00 - 16:00 h, nuevamente como resultado de restos de comida y desechos fisiológicos.

En el punto BZ-212344 (AD-25) se observó que la DBO5 sobrepasó los VMA entre las 10:00-12:00 h; mientras que la concentración de los parámetros DBO, DQO y SST disminuyó con el tiempo y la concentración de A&G se incrementó a las 16:00 h. Lo indicado evidencia la disminución del contenido de materia orgánica en el agua residual con el paso del tiempo. La baja presencia de contaminantes responde a la alta proporción de comercios y usuarios no industriales, incluso superiores a las del AD-23.

En el caso de los metales pesados, las aguas residuales municipales regularmente se caracterizan por la presencia común de metales Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn (Al Enezi et al., 2004), lo cual concuerda con lo hallado en el monitoreo, resaltando el Cu en las zonas industriales. Si bien estos metales no dañan significativamente la infraestructura de drenaje, limitan el tratamiento y perjudican los afluentes donde se depositan, puesto que parte de las aguas

tratadas posteriormente se derivan al Río Chillón para su uso en irrigación y ganadería, reduciendo la seguridad alimentaria (Galagarza et al., 2021).

Las bajas proporciones de contaminantes y cumplimiento de los VMA en los puntos BZ-46847 y BZ-212344 indicaron que la composición y tipos de descarga provienen de predios multifamiliares que descargan aguas residuales domésticas, con probabilidad de tratamiento eficiente (Paucar & Iturregui, 2020).

Conclusión

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del D.S. 021-2009-VIVIENDA en las áreas críticas de drenaje de la PTAR Puente Piedra. Como resultado del monitoreo se encontró exceso de los Valores Máximos Admisibles en los parámetros DBO5, DQO, SST, A&G, Cobre total, pH y SS.

Se evidenció la presencia de abundante material orgánico, sustancias químicas no degradables y sólidos sedimentables por presencia de fábricas (de alimentos, textiles, alimentos, insecticida, productos de limpieza y tratamiento de papel), restaurantes y predios multifamiliares con alto volumen de efluentes.

Contribución de los autores

EMCS, redacción de manuscrito, análisis estadístico, recolección y organización de información.

BCT, diseño metodológico, diseño conceptual, organización de información.

DGCP, diseño de estrategia de monitoreo, zonificación y análisis geográfico.

Conflictos de interés

No presenta conflicto de intereses.

Referencias

- Al Enezi, G., Hamoda, M. F., & Fawzi, N. (2004). Heavy metals content of municipal wastewater and sludges in Kuwait. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(2), 397-407.
- Adetunji, A. I., & Olaniran, A. O. (2021). Treatment of industrial oily wastewater by advanced technologies: a review. *Applied Water Science*, 11(6), 98.
- American Water Works Association [AWWA] (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.

- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418.
- Galagarza, O. A., Ramirez-Hernandez, A., Oliver, H. F., Álvarez Rodríguez, M. V., Valdez Ortiz, M. D. C., Pachari Vera, E., et al & Deering, A. J. (2021). Occurrence of chemical contaminants in Peruvian produce: A food-safety perspective. *Foods*, 10(7), 1461.
- Gardner, M., Comber, S., Scrimshaw, M., Cartmell, E., Lester, J., & Ellor, B. (2012). The significance of hazardous chemicals in wastewater treatment works effluents. *Science of the Total Environment*, 437, 363-372.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2022). Lima supera los 10 millones de habitantes al año 2022.
- Kansal, A., Siddiqui, N., & Gautam, A. (2011). Wastewater treatment of pulp and paper industry: a review. *Journal of environmental science & engineering*, 53(2), 203-218.
- Liu, Y., Wang, H., Cui, Y., & Chen, N. (2023). Removal of Copper Ions from Wastewater: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 3885.
- Liukkonen, M., Laakso, I., & Hiltunen, Y. (2013). Advanced monitoring platform for industrial wastewater treatment: Multivariable approach using the self-organizing map. *Environmental modelling & software*, 48, 193-201.
- Ministerio de Vivienda y Saneamiento [MVS]. Decreto Supremo N°021-2009: Se aprueban los VMA. Perú, 2009.
- Mojiri, A., & Bashir, M. J. (2022). Wastewater treatment: current and future techniques. *Water*, 14(3), 448.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente, Perú. Primera edición. 2014.
- Paucar, F., & Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), e004-e004.
- Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water research*, 72, 3-27.
- Pignatello, J., Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. *Critical reviews in environmental science and technology*, 36(1), 1-84.

- Shon, H., Vigneswaran, S., & Snyder, S. (2006). Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: constituents, effects, and treatment. *Critical reviews in environmental science and technology*, 36(4), 327-374.
- Vallero, D. (2019). Thermal pollution. In *Waste* (pp. 381-404). Academic Press.
- Verma, A., Wei, X., & Kusiak, A. (2013). Predicting the total suspended solids in wastewater: a data-mining approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(4), 1366-1372.
- Yau, Y., Rudolph, V., Lo, C., & Wu, K. (2021). Restaurant oil and grease management in Hong Kong. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 40735-40745.
- Yu, L., Han, M., & He, F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 10, S1913-S1922.