

Evaluación de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas–Región Puno

Evaluation of water quality from effluents from domestic wastewater treatment plants–Puno Region

Yony Angel Ari Ali^{1,*}

¹YMICONS S.A.C. Actividades de consultoría de gestión como arquitectura e ingeniería Pj. Guadalupano Nro. 189 Urb. Los Rosales (1era Cdra Del Jr. Juan Sotomayor) Puno, Perú..

Resumen

La evaluación de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas ha sido realizado en la región de Puno en el año 2024, tuvo como objetivos identificar y clasificar las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas en la región de Puno, caracterizar los parámetros de calidad de agua respecto a los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTARs seleccionados en la región de Puno, e identificar las PTARs domésticas que cumplan con los LMP establecidos en la normativa peruana. Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo de diseño no experimental, de tipo transaccional descriptivo y se realizó un análisis de datos de normalidad con Shapiro-Wilk, homogeneidad con Levene y correlación de Pearson con los parámetros considerados en los LMP; se evaluaron PTARs de 72 distritos y efluentes de trece provincias. Los resultados revelaron que el 82 % de distritos tienen PTAR, de estos 68 % están inoperativos, y 14 % de su infraestructura está en buen estado. Los parámetros SST, DBO5 y DQO mostraron una correlación moderada, mientras que Aceites y grasas, DBO5 y DQO tuvieron una fuerte correlación. Del análisis de efluentes solo un PTAR (Yunguyo) cumplió con los LMP. Este estudio reveló graves deficiencias en las PTARs de la región de Puno, y la necesidad urgente de implementar acciones correctivas y mejoras significativas en la gestión ambiental regional, finalmente las correlaciones moderadas y fuertes entre parámetros nos indican la complejidad de las interacciones en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Palabra clave: Efluente, límite, permisible, residual, tratamiento.

Abstract:

The evaluation of water quality of effluents from domestic wastewater treatment plants was conducted in the Puno region in 2024. Its objectives were to identify and classify domestic wastewater treatment plants in the Puno region, characterize water quality parameters with respect to the Maximum Permissible Limits for selected PTAR effluents in the Puno region, and identify domestic PTARs that comply with the LMP established in Peruvian regulations. This research has a quantitative approach with a non-experimental, transactional descriptive design, and a data analysis of normality with Shapiro-Wilk, homogeneity with Levene, and Pearson correlation was performed with the parameters considered in the LMP; PTARs from 72 districts and effluents from thirteen provinces were evaluated. The results revealed that 82% of districts have PTARs, of which 68% are inoperative, and 14% of their infrastructure is in good condition. The SST, DBO5, and DQO parameters showed a moderate correlation, while Oils and greases, DBO5, and DQO had a strong correlation. From the effluent analysis, only one PTARs (Yunguyo) complied with the LMP. This study revealed serious deficiencies in the PTARs of the Puno region and the urgent need to implement corrective actions and significant improvements in regional environmental management. Finally, moderate and strong correlations between parameters reveal the complexity of interactions in the wastewater treatment process.

Keywords: Effluent, limit, quality, permissible, residual, treatment.

Recibido: 13/06/2025

Aceptado: 25/08/2025

Publicado: 30/09/2025

*Autor para correspondencia: Yony_ari@hotmail.com

Cómo citar: Ari Ali, Y. A. (2025). Evaluación de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas–Región Puno. *Revista De Investigaciones*, 14(3) 118-129.

<https://doi.org/10.26788/ri.v14i3.6941>

Introducción

En el Perú, el tratamiento de aguas residuales se encuentra en una situación crítica debido a la precaria infraestructura existente y la deficiente operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento. Esta situación contribuye a altos niveles de contaminación ambiental y representa un riesgo para la salud pública y la biodiversidad acuática (Raffo & Ruiz, 2014).

La Organización Mundial de Salud, informa que, a nivel Mundial, 3500 millones de personas (el 43 % de la población) carecen de saneamiento gestionado de forma segura. Es decir, no disponen de inodoros o letrinas que permitan un tratamiento o eliminación de excretas (Gordon, 2023).

Las urbanizaciones alteradas hicieron que las personas que viven en situaciones de pobreza en ciertas áreas desarrolladas tengan los mismos desafíos que en ciudades en desarrollo. Para el año 2030 se prevé que la demanda de agua aumentará en un 40 % a 50 % (Habitat III/ONU, 2017).

Solo en el año 2012, más de 800,000 personas murieron por consumir agua contaminada. Según la UNESCO en los países de bajos ingresos, solo se trata el 8 % de las aguas residuales domésticas e industriales (UNESCO, 2017).

La mitigación del cambio climático a través del agua es una propuesta que beneficiara y mejorara el servicio de abastecimiento de agua y saneamiento (UNESCO, 2020).

El crecimiento desordenado por el aumento de la población mundial, las transformaciones en las dinámicas familiares y laborales involucra un desafío cada vez mayor de una demanda de agua potable y un servicio de saneamiento adecuado (Defensoría del Pueblo del Peru, 2015).

En el Día Interamericano del Saneamiento la Organización Panamericana de la Salud informa que el 50,8 % de América Latina y el Caribe no cuenta con un saneamiento seguro (OPS/OMS, 2023).

El Grupo Banco Mundial refiere que el 70 % de las aguas residuales de Latinoamérica retornan a los ríos sin ser tratadas (Yee-Batista, 2013).

La gestión responsable de las aguas residuales puede contribuir a solucionar otros desafíos, como la producción de alimentos y el desarrollo industrial (Lahera Ramón, 2010).

Implementar un tratamiento de aguas residuales eficiente, a pesar de su complejidad, puede convertirse en un negocio rentable gracias al reuso del agua tratada (De la Peña & Larrea, 2022).

En los Estados Unidos de Norte América se firman acuerdos de monitoreo de calidad del agua para la mejor toma de decisiones y una buena gestión del recurso hídrico (Rivas & Maldonado, 2011).

En un estudio en Colombia sobre el impacto del vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento a cuerpos de agua concluye que las aguas residuales impactan calidad ambiental en los sitios cercanos al casco urbano (Chalarca Rodríguez & Mejía Ruiz, 2007).

Una revisión que se realizó en Colombia sobre las interacciones microrganismos – microplásticos por los vertidos de aguas residuales concluyeron que las comunidades microbianas tienen genes de resistencia virulenta y que son altamente dañinas para el ambiente (Sáenz Arias & Garcés Ordóñez, 2022).

La contaminación del agua tiene graves consecuencias, manifestándose en problemas de salud para los seres humanos, el envenenamiento de la vida silvestre y daños irreparables al ecosistema a largo plazo (Nunez, 2025).

En el vecino país de Bolivia se realizó un estudio entre los años 2012 y 2017 sobre la eficiencia de 8 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Cochabamba reveló que ninguna cumplía con la normativa boliviana (Mercado & Verduguez, 2017).

En 2015 la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en Perú realizó un diagnóstico de 204 PTARs en el ámbito de 32 EPS donde 163 estaban operativas, 32 en construcción y 9 paralizadas. Asimismo 89 localidades administradas por las EPS no cuentan con PTAR (SUNASS, 2016).

La SUNASS en el año 2022, realizó un diagnóstico de 202 plantas de tratamiento de aguas residuales, de estos 171 están operativas, y mencionan que a partir del año 2016 hasta el 2022 el tratamiento en PTAR se incrementó en un 11,30 % (SUNASS, 2022).

En cuanto a la operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), los investigadores Velasco y Moncayo señalaron que la operación y el mantenimiento son factores cruciales para asegurar su eficiencia (Velasco & Moncayo, 2019).

En el año 2016, Perú experimentó un incremento del 59,7 % en las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento respecto al año anterior. No obstante, esta cifra representó un descenso del 38,7 % en comparación con el año 2008 (Costa, 2019).

El 70 % de las aguas residuales no son tratadas, lo que dificulta la reutilización y afecta el ciclo del agua debido a la contaminación (Larios & González, 2015).

Las aguas residuales contaminan los ríos, dañando los ecosistemas acuáticos, provocan eutrofización que es un crecimiento excesivo de algas y plantas que consumen el oxígeno, asfixiando y matando la vida acuática (Sáez & Palomino, 2022).

En el Perú, las deficiencias estructurales en el manejo y supervisión de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) demuestran que las estrategias actuales para el monitoreo y control de la calidad de los efluentes son ineficaces (Aquino, 2017).

A partir del 17 de marzo del año 2010 entra en vigencia el D. S. N° 003-2010-MINAM, sobre la obligatoriedad de cumplimiento de los Límites

Máximos Permisibles para efluentes de PTAR y su monitoreo (MINAM, 2010).

La ONU en el año 2011, evaluó 34 fuentes de contaminación en la región de Puno. El informe reveló que 26 de las poblaciones contaban con un PTAR. Las condiciones ambientales alrededor de las PTARs y disposición final de aguas residuales se clasifican como buenas en 23,1 %, regulares en 69,2 % y malas en 7,7 %. Además, el 50 % de estos sistemas utilizaba tecnologías adecuadas para el tratamiento y reúso de aguas residuales (ONU, 2011).

La ausencia de mediciones de efluentes basadas en los límites máximos permisibles (LMP) impide identificar problemas de contaminación, evaluar la efectividad de las políticas ambientales y tomar decisiones informadas para su mejora (SUNASS, 2008).

Las políticas y normas ambientales son de estricto cumplimiento y son de carácter nacional, sectorial, regional y local por que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, y viables a largo plazo (MINAM, 2005).

La PTAR de Puno tiene estructuras a su máxima capacidad, lo que impide un funcionamiento adecuado. Esto resulta en la contaminación del agua efluente, afectando negativamente la salud del efluente (Molina Sánchez, 2020).

Estudios determinaron que en los últimos 5 años el 56,25 % de PTAR de la circunlacustre del Lago Titicaca no realizaron mantenimiento, e indican que fue por falta de recursos financieros (Medrano & Mamani, 2020).

Las aguas residuales descargadas en el anillo circunlacustre del Lago Titicaca mostraron altos niveles de DBO₅, nitrógeno, fósforo y coliformes termotolerantes excediendo los LMP, a excepción de la laguna de oxidación de Tilali (Siguayro & Pasapera, 2022).

La investigación tiene como objetivos identificar y clasificar las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas en la región de Puno,

caracterizar los parámetros de calidad de agua respecto a los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas seleccionados en la región de Puno y finalmente identificar las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas que cumplen con los LMP establecidos en la normativa peruana.

Métodos

Figura 1

Mapa de ubicación de lugar de estudio



Descripción de métodos

La distribución geográfica de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) en la región de Puno requirió visitas programadas en diferentes fechas a lo largo del año 2024. Sin embargo, la recolección de muestras para el análisis de efluentes de las PTARs en las 13 provincias se llevó a cabo específicamente entre el 24 de mayo y el 6 de junio de 2024.

Ámbito o lugar de estudio

El estudio se ha desarrollado en las trece provincias de la región de Puno, y comprende como población de estudio a sus 110 municipalidades distritales, del cual se obtuvo una muestra de 72 distritos mediante el método de muestreo aleatorio simple (Figura 1).

Sobre los materiales utilizados se utilizó el informe del censo poblacional del año 2017, se utilizó fichas de evaluación antes elaboradas y derivadas de las visitas a las PTAR, así mismo se tiene los resultados de laboratorio de análisis de efluentes de aguas servidas de trece PTARs de diferentes provincias, y por último se tiene el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM (MINAM, 2010), sobre la Aprobación de Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas.

Se tiene para el primer objetivo la variable Plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Región de Puno en la cual se tuvo que evaluar la población existente en cada distrito intervenido, además se evaluó su operatividad y estado de infraestructura de las PTARs, para el segundo objetivo se tiene la variable Calidad de agua de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales de acuerdo a el Protocolo de Monitoreo RM N^a 273-2013-VIVIENDA, en este sentido se realizaron los análisis de efluentes si repeticiones de 13 provincias de la región de Puno mediante un laboratorio de análisis físico, químico y biológico privado denominado CERPER S.A. y para el tercer objetivo se tiene la variable Parámetros de efluentes de plantas de tratamiento de la región Puno establecidos en la normatividad peruana (DS-003-2010-MINAM), estas variables fueron evaluadas por su grada de cumplimiento respecto a la normativa peruana.

En lo que respecta al análisis estadístico, para el primer objetivo se utiliza la estadística descriptiva para mostrar la existencia o no de los PTARs, operatividad, estado de infraestructura y nivel de tratamiento. Para el segundo objetivo se ha caracterizado los datos en base a los parámetros de calidad de agua indicado en los LMP y utilizado

la estadística inferencial. Para probar si los datos siguen una distribución normal se ha utilizado la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk el cual es utilizado para muestra menores de 50 observaciones. Para probar la homogeneidad de varianzas entre los grupos de datos se ha utilizado la prueba de Levene. Finalmente, para realizar la correlación entre variables se ha utilizado el método estadístico de Pearson para evaluar relaciones lineales entre dos variables cuantitativas. Los análisis fueron realizados con ayuda del software estadístico SPSS. Para el tercer objetivo se utilizó un análisis estadístico descriptivo para mostrar el cumplimiento de los LMP establecidos en la normatividad peruana.

Resultados

Identificación y clasificación de las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Región de Puno.

Se ha clasificado los distritos intervenidos de acuerdo a su población. Se observa que treinta distritos tienen menos de 5,000 habitantes; veinte, entre 5,001 y 10,000; y otros veinte, entre 10,001 y 50,000. No hay distritos entre 50,001 y 100,000 habitantes. Solo Puno y Juliaca superan los 100,000 habitantes (Tabla 1).

Tabla 1

Cantidad de distritos estudiados según población de habitantes

Clasificación según población del distrito	Número de distritos estudiados	Porcentaje %
Menos de 5000 habitantes	30	41,67
Entre 5001 y 10000 habitantes	20	27,78
Entre 10001 y 50000 habitantes	20	27,78
Entre 50001 y 100000 habitantes	0	0,00
Más de 100000 habitantes	2	2,78

Nota. Muestra el porcentaje de distritos estudiados según población.

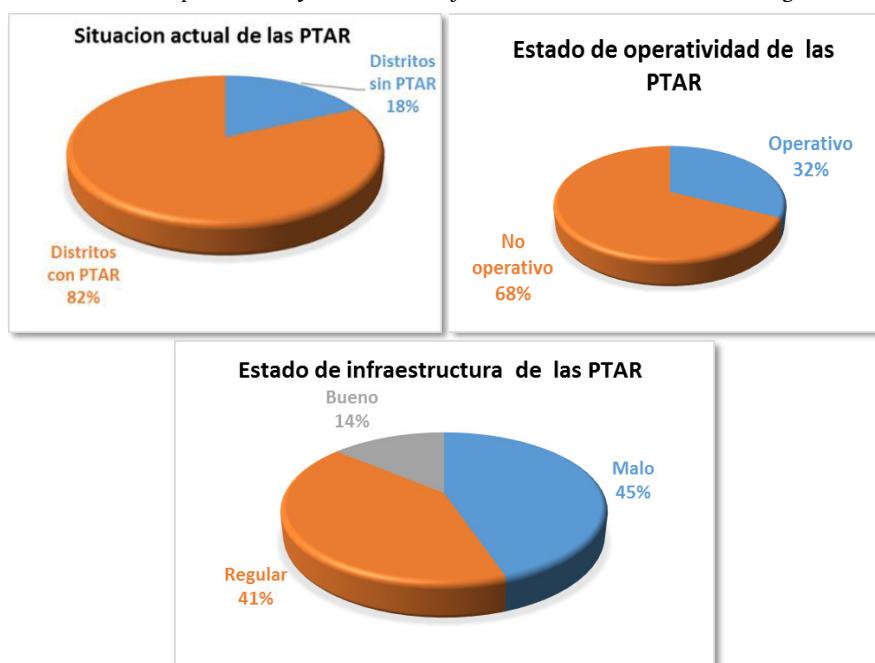
Se presenta el resumen de la evaluación realizada en cada visita de PTARs, mostrando valores porcentuales que nos indican que el 18 % de los distritos no cuenta con PTAR y el 82 % que sí cuenta. De los distritos con PTAR el 32 % se encuentran operativos, y los otros 68 % no operativos. En lo que respecta al estado de infraestructura se tiene

que el 14 % se encuentra en buen estado, 41 % en estado regular y 45 % en mal estado (Figura 2).

Las visitas in situ confirman el abandono de muchos sistemas de tratamiento, lo que resulta en el colapso y deterioro de la infraestructura de las PTAR debido a la falta de operación y mantenimiento adecuado .

Figura 2

Situación actual, operatividad y estado de la infraestructura de las PTAR en la región Puno.



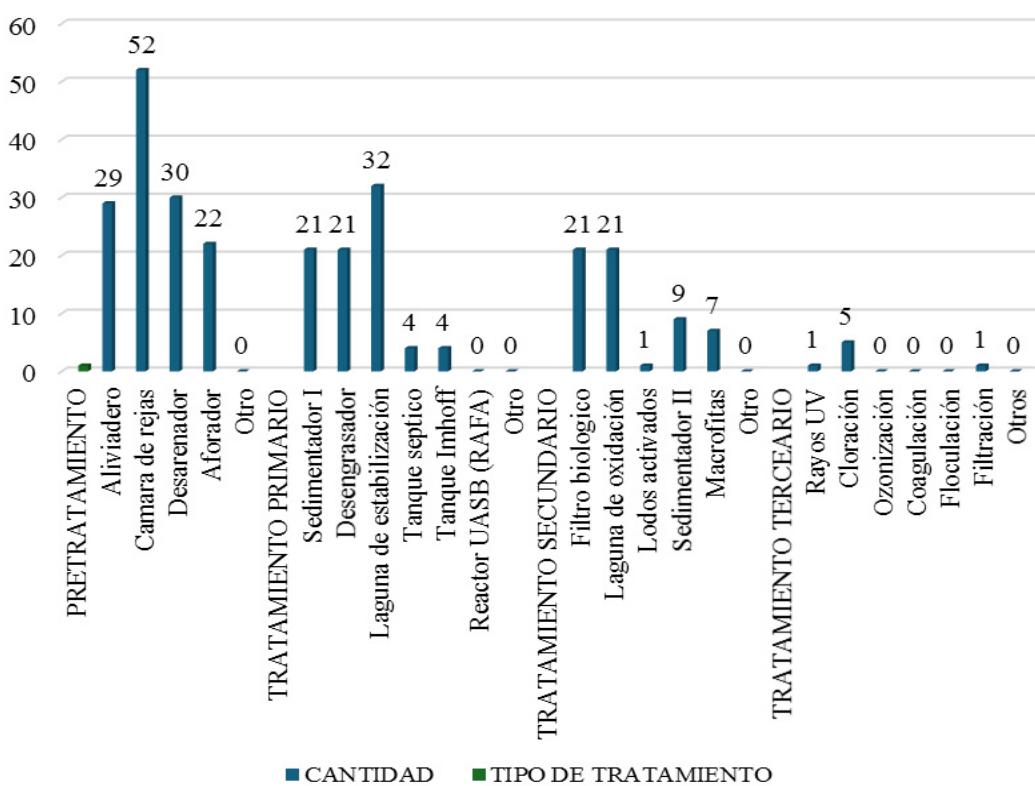
Nota. En la primera parte de la figura se muestra la situación actual, operatividad y estado de infraestructura, y seguido se muestra el nivel de tratamiento de las PTARs estudiadas.

Por otro lado, se muestra el nivel de tratamiento de las PTARs, donde se puede apreciar las tecnologías

empleadas para el tratamiento de aguas residuales en los distritos de la región de Puno (Figura 3).

Figura 3

Nivel de tratamiento de las PTAR



Nota. En la figura se muestra las tecnologías más utilizadas en los PTARs.

Caracterización de los parámetros de calidad de agua respecto a los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas seleccionados en la Región de Puno.

Con el objetivo de obtener una visión integral sobre la calidad del agua en la región de Puno, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de los efluentes provenientes de las 13 provincias que

componen el territorio puneño. Se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados por el laboratorio en los efluentes de 13 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, asegurando así, la representación de cada provincia de la región. Además, se han incluido los efluentes de dos distritos, Quilcapunco y Huatasani, en representación de las provincias de Putina y Huancané, respectivamente, dado que estas no cuentan con PTAR en sus localidades (Tabla 2).

Tabla 2
Análisis de parámetros de monitoreo de efluentes

Monitoreo de Parámetros de Agua Residual (Efluente)	EFLUENTES ANALISADOS DE LAS PROVINCIAS DE LA REGION PUNO													
	Unidades	Azangaro	El Collao	Melgar	Carabaya	Chucuito	Huatasani	Lampa	Moho	Puno	Quilcapunco	Sandia	San Roman	Yunguyo
Parámetros físico - químicos														
Sólidos suspendidos totales - SST	mg/L	135	177	160	19,7	49	219	80	6,8	99	125	14,1	242	3
Parámetros orgánicos														
Aceites y grasas	mg/L	16	8,5	26	4	12,5	9,5	17,5	4,2	9,4	24	16,7	46	0,5
Demandा bioquímica de oxígeno - DBO5	mg/L	233	82	527	39	131	60	138	17,3	114	260	50	293	7,9
Demandा química de oxígeno - DQO	mgO2/L	781	330	898	126	337	396	310	70	246	514	3,2	574	28
Parámetros microbiológicos														
Coliformes termotolerantes - NMP	NMP/100mL	1E+07	920000	7E+06	####	2E+07	6,8	9E+07	2E+06	####	9E+07	####	5E+07	2,4
Datos de campo														
Temperatura T° <35°C	°C	25,3	26	12,7	10	26	28	21	13,01	23	22,5	24,7	27	13
PH	Unidad	8,25	4,62	7,89	9,04	7,92	8,3	6,1	7,89	5,66	6,6	7,32	5,7	7,3

Nota. Tabla que muestra los análisis de efluentes de las 13 PTARs.

Se muestra las correlaciones de Pearson entre los parámetros analizados. Las correlaciones significativas ($p > 0,05$) se explican indicando que los Sólidos Suspensos Totales (SST) correlacionan moderadamente con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ($r = 0,540$) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ($r = 0,710$), indicando que, a mayor SST, mayor es la DBO y la DQO (Tabla 3).

Aceites y Grasas tienen una fuerte correlación con la DBO ($r = 0,729$) y la DQO ($r = 0,619$), DBO y DQO están muy correlacionadas ($r = 0,894$), lo cual es esperado ya que ambas son indicadores de la cantidad de materia orgánica en el agua,

Coliformes termotolerantes tienen correlaciones bajas y no significativas con otros parámetros, indicando poca relación directa. La temperatura muestra correlaciones moderadas con SST ($r = 0,569$) y aceites y grasas ($r = 0,373$), y por último el PH tiene una correlación baja con la DBO ($r = -0,052$) y los coliformes termotolerantes ($r = -0,323$), indicando que valores más altos de PH podrían reducir estos parámetros. Este análisis es útil para identificar relaciones potenciales entre variables, lo que puede ayudar a hacer predicciones, explorar posibles causas y efectos, mejorar diseños de PTAR, entre otras aplicaciones.

Tabla 3

Resultados de la correlación entre variables de los grupos analizados.

Grupos	Especificación	Sólidos suspendidos totales	Aceites y grasas	Demandas bioquímica de oxígeno	Demandas química de oxígeno	Coliformes termotolerantes	Temperatura	PH
Sólidos suspendidos totales	Correlación de Pearson	1						
	Sig. (bilateral)							
	N	13						
Aceites y grasas	Correlación de Pearson	0,627*	1					
	Sig. (bilateral)	0,022						
	N	13	13					
Demandas bioquímica de oxígeno	Correlación de Pearson	0,540	0,729**	1				
	Sig. (bilateral)	0,057	0,005					
	N	13	13	13				
Demandas química de oxígeno	Correlación de Pearson	0,710**	0,619*	0,894**	1			
	Sig. (bilateral)	0,007	0,024	0,000				
	N	13	13	13	13			
Coliformes termotolerantes	Correlación de Pearson	0,170	0,506	0,304	0,242	1		
	Sig. (bilateral)	0,578	0,078	0,313	0,426			
	N	13	13	13	13	13		
Temperatura	Correlación de Pearson	0,569*	0,373	0,010	0,222	0,200	1	
	Sig. (bilateral)	0,043	0,209	0,975	0,465	0,512		
	N	13	13	13	13	13	13	
PH	Correlación de Pearson	-0,367	-0,307	-0,052	0,005	-0,323	-0,429	1
	Sig. (bilateral)	0,217	0,308	0,867	0,986	0,281	0,143	
	N	13	13	13	13	13	13	13

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota, El cuadro muestra la correlación que tienen los parámetros de efluentes analizados.

Identificación de las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas que cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos en la normativa peruana,

De acuerdo a la evaluación de la tabla 2, se observa el grado de cumplimiento de la normativa peruana por parámetro analizado siendo el LMP el 100 %, en referencia a lo indicado se observa que SST solo se cumple en un 69 %, aceites y grasas un 77 %, DBO un 46 %, DQO un 31%, coliformes termotolerantes un 15 %, temperatura en un 100 %, y PH en un 62 %, finalmente se tiene un promedio total de cumplimiento respecto a los LMP de un 57 %,

Este resultado refleja el estado de operatividad de las PTAR en la región (Figura 1), acompañado del uso de tecnologías inadecuadas para las

condiciones específicas de la zona. Los análisis de estos efluentes de PTAR de las 13 provincias indican una situación crítica que estadísticamente representa las condiciones generales de las PTAR de toda la región de Puno,

El único PTAR que cumplió los LMP se encuentra en la provincia de Yunguyo, el cual usa la tecnología para tratamiento de aguas residuales llamada lodos activados, es plausible indicar que además se realiza un tratamiento de lodos de forma mecánica, dejándolo este deshidratado inholoro,

Discusión

Estos resultados reflejan que la mayoría de los distritos estudiados en total 70 tienen menos de 50,000 habitantes, destacándose una concentración

significativa en las poblaciones más pequeñas esto de acuerdo al censo de población realizado en el 2017 (INEI, 2017). Como lo advierte la ONU, la creciente presión demográfica y la urbanización descontrolada están configurando un escenario futuro donde la provisión de servicios básicos de agua y saneamiento se convertirá en un desafío de grandes proporciones (Habitat III/ONU, 2017).

En la región de Puno, los resultados obtenidos revelan cifras preocupantes confirmando las conclusiones previas obtenidas en la evaluación de 34 fuentes de contaminación en la región en 2011 (ONU, 2011). Es preocupante observar que, a pesar de haber transcurrido catorce años desde el análisis anterior, las cifras desfavorables han experimentado un aumento. Por otro lado, en cuanto a la operatividad, los investigadores Velasco y Moncayo señalaron que la operación y el mantenimiento son factores cruciales para garantizar la eficiencia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Esta afirmación se ve respaldada por los resultados obtenidos en la presente evaluación (Velasco & Moncayo, 2019),

El diagnóstico realizado por la SUNASS en Perú en 2015 también respalda estos hallazgos, señalando que el 90 % de las PTAR carece de autorización para el vertimiento de efluentes (SUNASS, 2016). A nivel internacional, el informe (UNESCO, 2017), indicó que en países subdesarrollados solo se trata del 8 % de las aguas residuales domésticas, lo cual también es confirmada con la presente investigación,

En la Universidad Privada Boliviana realizaron un análisis detallado de los costos operativos de las PTAR en poblaciones de 10 000 y 3 200 habitantes, el cual indica que podía alcanzar a USD 19412 y USD 17493 anuales respectivamente. Cifra que debe tomarse en cuenta ya que en la figura 1 señala un 41% de PTAR cuentan con una infraestructura de regular estado que pueden ser utilizadas con una política de operación y mantenimiento (Heredia & Orellana, 2020),

Los resultados de la tabla 2 de efluentes de las ciudades principales de las 13 provincias, 2 carecen de PTAR, vertiendo aguas residuales directamente a los ríos. Esto amenaza la salud pública y el ecosistema fluvial, urgiendo la implementación

de PTAR, Estos resultados reflejan la calidad del agua de efluentes,

Los resultados de la tabla 3 destacan correlaciones clave entre parámetros de calidad del agua en el contexto del tratamiento de aguas residuales. La correlación moderada entre Sólidos Suspensos Totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ($r= 0,540$), así como con la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ($r= 0,710$), sugiere que un aumento en SST se asocia con mayores niveles de materia orgánica, lo cual incrementa la demanda de oxígeno para su degradación, Este comportamiento concuerda con lo descrito por Metcalf y Eddy (Metcalf, 1995), en su libro “Ingeniería de aguas residuales” quienes subrayan que una mayor carga de sólidos suele requerir un tratamiento más intenso.

Por otro lado, la fuerte correlación entre Aceites y Grasas y DBO ($r= 0,729$) y DQO ($r= 0,619$) sugiere que estos compuestos tienen un impacto considerable en el consumo de oxígeno, reflejando su alta demanda en los procesos de oxidación, La estrecha relación entre DBO y DQO ($r=0,894$) resulta esperable, ya que ambos parámetros evalúan la carga de materia orgánica, un factor crítico en el tratamiento (Romero, 2010),

Finalmente, el pH tiene una valoración baja e inversa con DBO ($r=-0,052$) y Coliformes Termotolerantes ($r=-0,323$), lo que indica que valores de pH más elevados podrían reducir la concentración de estos parámetros, un dato útil para ajustar los niveles de acidez en las PTAR, Estos hallazgos refuerzan la necesidad de prácticas de tratamiento optimizadas para manejar la complejidad y variabilidad de los parámetros de aguas residuales, promoviendo un mejor desempeño de las PTAR, Estos resultados no hacen más que confirmar lo indicado por Romero Rojas (2010) que las aguas residuales en concentraciones desfavorables del ion de hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, porque afectan la biótica de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos,

Al evaluar los parámetros de monitoreo de aguas residuales en relación con los límites máximos permisibles, se observa que solo la PTAR de Yunguyo cumple completamente con

estos estándares, mientras que las demás PTAR cumplen de manera parcial, Esto confirma los hallazgos reportados por la SUNASS (SUNASS, 2016), que indicaban que solo el 10 % de las PTAR tenían autorización para verter efluentes,

Los resultados de los análisis indican que el tratamiento actual de nuestras aguas residuales alcanza un nivel de eficiencia del 57 % respecto a los LMP, Esta cifra evidencia una brecha considerable en el cumplimiento normativo y la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento en nuestras PTAR, Reingeniería y optimización de los procesos de las PTARs se indica como necesidad urgente en la investigación realizada por Karina Yupanqui (Yupanqui & Alhua, 2024),

Si bien el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) es un requisito indispensable para autorizar los vertimientos de efluentes de las PTAR, los hallazgos de nuestra investigación contrastan y cuestionan los datos reportados por (Aquino, 2017), A pesar de que en ese año la Autoridad Nacional del Agua (ANA) contaba con 51 autorizaciones de vertimiento de efluentes para la región de Puno, evidenciamos un estado de abandono generalizado en las PTAR así mismo de los LMP, lo que pone en duda la efectividad de los controles y la calidad de los efluentes vertidos, En cuanto a las acciones de fiscalización de la calidad del agua en el Perú, Luis Eduardo Ramírez destaca la importancia de verificar las condiciones de tratamiento y disposición final de los vertimientos de aguas residuales (Guevara & Obando, 2018),

Las deficiencias estructurales observadas en el manejo y supervisión de las PTAR reflejan la ineficacia de las estrategias vigentes para el monitoreo y control de la calidad de los efluentes, lo cual compromete tanto la salud pública como el medio ambiente, Estos hallazgos apuntan a la importancia de implementar reformas en las políticas de manejo de aguas residuales, mejorar la supervisión y fortalecer el apoyo a nivel nacional para asegurar la sostenibilidad y eficiencia de las plantas de tratamiento (Aquino, 2017),

Conclusiones

De la identificación y clasificación de los PTAR de todos los distritos de la región de puno se obtuvieron

una muestra calculada de 72 distritos, de los cuales 70 distritos tienen poblaciones menores a 50000 habitantes y solo 2 distritos cuentan con más de 100000 habitantes, La evaluación realizada en 72 distritos de la región de Puno reveló que el 18 % de los mismos no cuenta con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), mientras que el 82 % disponen de estas infraestructuras, Sin embargo, de las PTAR existentes, solo el 32 % están operativas, mientras que el 68 % restante no se encuentran en funcionamiento, finalmente se revela que el tratamiento terciario es escasamente implementado en las PTAR, con solo 7 plantas que cuentan con esta tecnología y de estas, solo una está operativa,

A partir de la caracterización de los parámetros de los efluentes en relación con los Límites Máximos Permisibles (LMP), se han llevado a cabo correlaciones de Pearson que han revelado relaciones significativas entre diversos parámetros, Se destaca una fuerte correlación entre Aceites y Grasas con la Demanda Biológica de Oxígeno a cinco días (DBO5) ($r = 0,729$) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ($r = 0,619$), Asimismo, se ha observado una relación moderada entre los Sólidos Suspensidos Totales (SST) y la DBO ($r = 0,540$), así como entre los SST y la DQO ($r = 0,710$), Por último, se confirma una alta correlación entre la DBO y la DQO ($r = 0,894$), lo cual es predecible, dado que ambos parámetros son indicadores de la cantidad de materia orgánica presente en el agua, Estos hallazgos subrayan la complejidad de las interacciones en los procesos de tratamiento del agua y resaltan la importancia de considerar estas correlaciones para optimizar la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales, Además, sugieren la necesidad de un enfoque integral que contemple estas interrelaciones para mejorar el diseño y operación de estos sistemas, garantizando así un tratamiento más efectivo y sostenible. De la identificación de los PTAR que cumplen con los LMP, Como resultado de la identificación de efluentes analizados de acuerdo a la normatividad peruana se muestra que solo 01 PTAR (Yunguyo) cumple completamente con los LMP, la mayoría de las PTAR evaluadas cumplen parcialmente con los LMP para efluentes, se revela también que el tratamiento actual de aguas residuales en la región solo alcanza un nivel de eficiencia del 57 % respecto a los LMP, finalmente

se concluye que no existe diferencia significativa al analizar los parámetros de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la región de Puno ya que el 72% de los PTAR no tienen un adecuado funcionamiento.

Conflictos de interés

No existe conflicto de interés por el autor (YAAA).

Referencias

- Aquino Espinoza, P. (2017). *Calidad del Agua en el Perú* (Derecho, A). Sonimágenes del Perú SCRL.
- Chalarca-Rodríguez, D., & Mejía Ruiz, R. (2007). Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la cíenaga. *Revista Facultad de Ingeniería N° 40*, 41–58.
- Costa Aponte, F. (2019). Anuario de Estadísticas Ambientales, 2017. Instituto Nacional De Estadística e Informática.
- De la Peña, M., & Larrea, C. (2022). *El Reuso de Agua Residual Tratada en América Latina y el Caribe: 10 Estudios de Caso*. Codia. <https://codia.info/>
- Defensoría del Pueblo del Perú. (2015). *Conflictos Sociales y Recursos Hídricos*. (Defensoría).
- Gordon, B. (2023). Vigilancia del Abastecimiento de Agua, el Saneamiento y la Higiene. *World Health Organization*.
- Guevara Gil, A., & Obando, W. (2018). *Evaluación de la calidad del agua en el Perú*. Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Habitat III/ONU. (2017). Nueva Agenda Urbana. In *Declaración de Quebec sobre la preservación del espíritu del lugar*. ONU.
- Heredia, G., & Orellana, B. (2020). Evaluación Del Costo Anual Equivalente De Las Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales De Los Municipios De Cliza Y Tolata. *Investigacion & Desarrollo*, 19(2), 75–82. <https://doi.org/10.23881/idupbo.019.2-5e>
- INEI. (2017). Resultados Definitivos De Los Censos Nacionales 2017.
- Lahera Ramón, V. (2010). Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Quivera*, 12, 68.
- Larios, J. F., & González, C. (2015). Aguas Residuales y sus Consecuencias en el Desarrollo y la Producción. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2, 9–25.
- Medrano, M., & Mamani, A. (2020). Operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Circunscritas al Lago Titicaca-Sector Perú y el Marco Legal en Defensa de los Ecosistemas. *Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas*.
- Mercado, Rodolfo., & Verduguez, Jeannette. (2017). Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudades Intermedias y Pequeñas en Cochabamba. *Scielo*, 1–6.
- Metcalf, E. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Recirculación. Volumen 2. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 1, Issue 2000).
- MINAM. (2005). Ley General del Ambiente. In *Congreso de la República del Perú* (Vol. 1). MINAM.
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *Normas Legales El Peruano*, 1–2.
- Molina Sánchez, R. (2020). Evaluación De La Planta De Tratamiento De La Ciudad De Puno Y Calidad Del Agua Retornada Al Efluente. *Alicia*.
- Nunez, C. (2025). La Contaminación del Agua Constituye una Crisis Mundial Creciente. Esto es lo que hay que Saber. National Geographic.
- ONU. (2011). Apoyo a la Gestión Integrada y Participativa del Agua en el Sistema Hídrico

- Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS).
- OPS/OMS. (2023). Día Interamericano del Saneamiento: el 50,8% de América Latina y el Caribe no Tiene un Saneamiento Gestionado de Manera Segura a Siete Años del Cumplimiento de los ODS. PAHO.ORG.
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las Aguas Residuales y la Demanda Bioquímica de Oxígeno. *Redalyc.Org*, 1.
- Rivas, F., & Maldonado, X. (2011). Acuerdos de Monitoreo de Calidad del Agua en Estados Unidos de Norte América: Estado del Arte. *Visión Gerencial*, 1, 173–187.
- Romero Rojas, J. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Escuela Co).
- Sáenz Arias, S., & Garcés Ordóñez, O. (2022). Contaminación por Vertidos de Aguas Residuales: Una Revisión de las Interacciones Microorganismos-Microplásticos y sus Posibles Riesgos Ambientales en Aguas Costeras Colombianas. *Ecosistemas*, 32(1), 1–14. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>
- Sáez Huamán, W., & Palomino Pastrana, P. (2022). Aguas Residuales en la Calidad de Agua del Río. *GnosisWisdom*, 2(3), 30–36. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43>
- Siguayro, H., & Pasapera, J. (2022). Evaluación de Fuentes Contaminantes en el Anillo Circunlacustre del Lago Titicaca (sector peruano), 2017. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 37(2), 361–386. <https://doi.org/10.53554/boletin.v37i2.378>
- SUNASS. (2008). Diagnóstico Situacional De Los Sistemas de Tratamiento De Aguas Residuales En La EPS del Perú Y Propuestas De Solucion. 1–80.
- SUNASS. (2016). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento.
- SUNASS. (2022). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ambito de las Empresas Prestadoras.
- UNESCO. (2017). Aguas Residuales: El Recurso No Explotado. In *Organización de las Naciones Unidas* (Vol. 8, Issue 18).
- UNESCO. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*.
- Velasco T., G., & Moncayo S., J. (2019). Diagnóstico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Manta. *InfoANALÍTICA*, 7(1), 27–39. <https://doi.org/10.26807/ia.v7i1.93>
- Yee-Batista, C. (2013). Un 70% de las Aguas Residuales de Latinoamérica Vuelven a los Ríos sin ser Tratadas. *Grupo Banco Mundial*.
- Yupanqui Pacheco, K., & Alhua Lozano, B. (2024). Reingeniería y Optimización de los Procesos de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales “Doris Mendoza.” *Scielo*, 17. <https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0233>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY) International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>