

Calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Piura

Quality of the domestic effluents of the Wastewater Treatment Plants from Piura

Carlos Alberto Alcántara Alfaro^{1,a}, Dallin De la Cruz Gutierrez^{1,b}, Adan Schneider Julián Soto^{1,c}, Cintya Melissa Mera Villalobos^{1,d}, Mariana Lisbeth Montoya Castillo^{1,e}, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay^{1,f}, Nora Rosa Concepción Malca Casavilca^{1,g}

Recibido: 18/12/2022 - Aprobado: 14/02/2023 – Publicado: 30/03/2023

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas del departamento de Piura en el periodo 2019 - 2021. Se hizo uso de una metodología cuantitativa y se analizó la información de los datos estadísticos procedentes de los informes anuales de la Evaluación de la Calidad de los efluentes de los Prestadores de Servicios de Saneamiento, mediante la cual, se logró evaluar la calidad de los efluentes de las PTAR en los años de interés. Los resultados obtenidos indicaron un mayor nivel de incumplimiento en los siguientes parámetros: Coliformes Termotolerantes (93,10%), Sólidos Suspendidos Totales (41,38%), Demanda Química de Oxígeno (79,31%), Demanda Biológica de Oxígeno (65,52%), Aceites y Grasas (10,34%), pH (6,90%) y Temperatura (0,00%). En conclusión, se evidenció que los valores no cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos, sobrepasando un porcentaje mayor al 40% en 4 de los 7 parámetros de evaluación.

Palabras claves: Aguas residuales domésticas, calidad, contaminación, efluentes, límites máximos permisibles.

ABSTRACT

The article's objective was to evaluate the quality of the domestic effluents of the Wastewater Treatment Plants (WWTP) in the city of Piura between the years 2019 to 2021. The methodology used was the quantitative method, for later, it analysed the statistical data of the Effluents Quality Evaluation of the Providers of Sanitation Services annual reports. It is so which evaluated the quality of the effluents from the WWTPs over the years at interest. Collected results indicated a higher level of non-compliance at the following parameters: Thermotolerant Coliforms (93.10%), Total Suspended Solids (41.38%), Chemical Oxygen Demand (79.31%), Biological Oxygen Demand (65.52%), Oils and Fats (10.34%), Ph (6.90%) and Temperature (0.00%). In conclusion, it proved that the values do not comply with the established Maximum Permissible Limits, exceeding a percentage greater than 40% in 4/7 evaluation parameters.

Keywords: Domestic wastewater, quality, pollution, effluents, maximum permissible limits.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado, Lima, Perú.

a Autor para correspondencia: carlos.alcantara@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7014-901X>

b E-mail: dallin.delacruz@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1010-8931>

c E-mail: adan.julian@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8185-5980>

d E-mail: cintya.mera@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1907-0044>

e E-mail: mariana.montoya@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9728-2857>

f E-mail: mayumi.sanchez@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-563X>

g E-mail: nmalcac@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2625-9008>

I. INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación de las fuentes de agua ha puesto en riesgo la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas. Por un lado, es válido pensar que el crecimiento poblacional es el principal responsable, pues, a mayor población, mayor consumo de este recurso y con ello, mayor contaminación. Por otro lado, es evidente como a esta realidad se le suma la deficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales, debido a que solo el 14% de las plantas de tratamiento en el Perú cumplen con la normatividad vigente que indica el buen funcionamiento de las mismas (SUNASS, 2008, como se citó en Larios *et al.*, 2015). En consecuencia, nace la necesidad de establecer mejores procesos que disminuyan el grado de contaminación del agua sin perjudicar la calidad de este mismo. Tal y como se menciona en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), número 6, es importante velar y garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos (Maschio, 2019). Es entonces que, el manejo de los recursos hídricos adquiere un especial énfasis al momento de prevenir, evitar y remediar problemáticas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la salud humana y su principal inconveniente, la escasez.

A partir de ello, se definen a las aguas residuales domésticas como aquellas aguas compuestas por una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el medio, provenientes de las actividades humanas y resultado de su rutina diaria (Díaz *et al.*, 2012). Estos desechos se caracterizan por tener un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas, aunque su composición depende de los hábitos de la población que lo genera (López, 2018). De esta forma, dado a su naturaleza doméstica, son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente, con un alto contenido de contaminantes dependiendo su origen y según sea el caso (Renault *et al.*, 2009, como citó en Malca *et al.*, 2021). En consecuencia, el manejo inadecuado de estas aguas, ha provocado el deterioro de la calidad y la contaminación de los recursos naturales como el aire, el suelo y su principal medio de propagación (Méndez *et al.*, 2017).

Por lo general, existen diversos parámetros que permiten estimar la calidad del agua de acuerdo con su composición biológica, química o física. En concreto, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) regula 104 parámetros para el agua según su clasificación. No obstante, existen 7 de los cuales la normativa vigente considera a la hora de evaluar los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales: Aceites y Grasas, Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Totales Suspendedos (SST) y Temperatura. Todas con una fuente de información útil que permiten monitorear el grado de contaminación presente. Así pues, se consideran una serie de medidas capaz de cuantificar los niveles de riesgo, examinar su calidad, y en el caso de ser necesario, asegurar la protección del recurso hídrico.

Por lo anteriormente mencionado, el propósito del artículo es evaluar la calidad de los efluentes de las PTAR del departamento de Piura en el periodo 2019 - 2021, teniendo como objetivo específico analizar los componentes de las aguas residuales (químicas, biológicas y físicas) relacionadas con sus procesos de contaminación.

II. MÉTODOS

El presente trabajo es de carácter investigativo aplicado - analítico. De este modo, se implementó una metodología cuantitativa enfocada al manejo de datos estadísticos. El proceso de investigación consistió de, en primer lugar, la revisión bibliográfica de bases de datos y repositorios académicos tales como ResearchGate, Scielo, ScienceDirect y Dialnet, haciendo uso de artículos con información relacionada a los parámetros de contaminación de las aguas residuales domésticas en un periodo no mayor a cinco años (aplicación de revisión sistemática). Asimismo, se realizará la inspección de publicaciones del MINAM y el MCVS como fuentes adicionales relacionadas a la normativa y los Límites Máximos Permisibles (LMP) del grado de concentración de los elementos que contaminan las aguas residuales domésticas. En segundo lugar, se aplicó el análisis de los datos estadísticos procedentes de los informes anuales de la Evaluación de la Calidad de los efluentes de los Prestadores de Servicios de Saneamiento. En tercer lugar, se finalizó la investigación con la interpretación de los resultados obtenidos a fin de estimar la calidad de los efluentes.

Para ser más específicos, el segundo paso abordó el registro de los datos en la hoja de cálculo Excel, con la finalidad de realizar una comparación más exacta de los parámetros de cada PTAR en los 3 años de estudio. Para ello, se hizo uso de la función "promedio" para determinar la media y la tendencia de los valores relacionados a la calidad de los efluentes. Igualmente, se utilizó de la función condicional "Si", a modo de identificar los valores que incumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). En base a ello, construir el análisis comparativo conforme a su clasificación como "ÓPTIMO", en el caso se encuentre dentro del rango establecido; y "NO CUMPLE", si se presenta el caso contrario. De encontrarse con este último caso, se representó la celda de color azul y naranja oscuro para facilitar su identificación. Finalmente, se elaboró gráficos de barras donde se puso en evidencia toda la información de manera resumida y comparada con los LMP.

III. RESULTADOS

En base al análisis de datos, se obtuvieron los siguientes resultados expresados en la Figura 1. En esta, se encontró que los parámetros de calidad con una mayor frecuencia de incumplimiento corresponden a los de los coliformes termotolerantes (27 de 29 PTAR), la DBO (19 de 29 PTAR), la DQO (23 de 29 PTAR) y los sólidos totales en suspensión (12 de 29 PTAR). Siendo un total de 4 parámetros que poseen un porcentaje de violación mayor al 40% de lo establecido por la normativa vigente en un promedio del 2019 al 2021.

De esta forma, a mayor detalle, con respecto a los **Coliformes Termotolerantes:**

El análisis de la Tabla 1 sugiere que, en el 2019, fueron 12 PTAR los que presentaron un exceso en la cantidad de coliformes termotolerantes en sus efluentes, siendo un total de 92,31% para las PTAR que ostentan datos en aquel año. Asimismo, en lo que respecta al 2020, este número ascendió

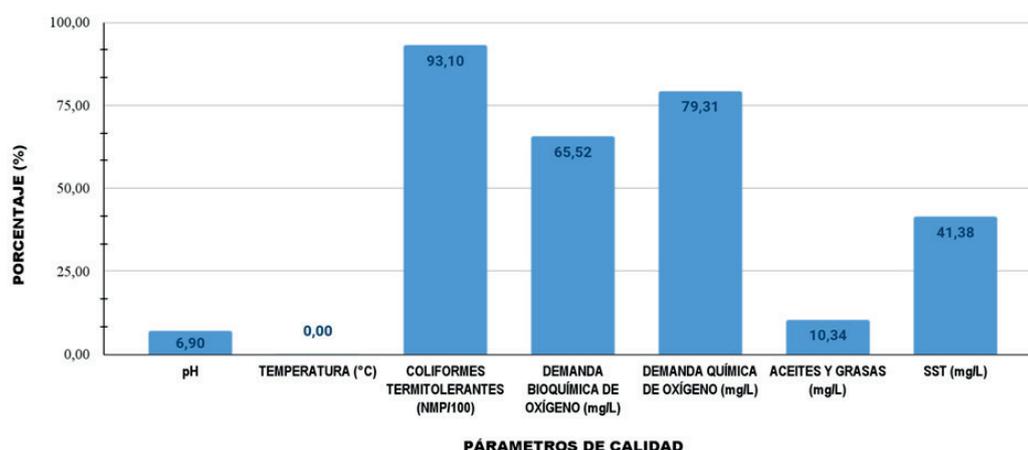


Figura 1. Porcentaje de PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen los parámetros de los LMP estudiados, en el periodo de 2019-2021.

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

Tabla 1. Análisis estadístico de las PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen el parámetro de Coliformes Termotolerantes, estudiados en el periodo de 2019-2021

PTAR	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)			Promedio	LMP
	2019	2020	2021		10000 NMP/100 mL
PTAR PAITA	240.000,0	600.000,0	622.500,0	487.500,0	NO CUMPLE
PTAR CERRO RAJADO	3.500.000,0	3.250.000,0	123.791,0	2.291.263,7	NO CUMPLE
PTAR CUEVIN EL INDIÓ NUEVO	92.000,0	49.000,0	129.520,0	90.173,3	NO CUMPLE
PTAR EL INDIÓ REHABILITADA	540.000,0	1.400.000,0	550.000,0	830.000,0	NO CUMPLE
PTAR MORROPON	16.000.000,0	410.000,0	1.045.000,0	5.818.333,3	NO CUMPLE
PTAR MALLARITOS SULLANA	240.000,0	1.000.100,0	1.000.000,0	746.700,0	NO CUMPLE
PTAR LOS ORGANOS	35.000,0	200.800,0	11.000,0	82.266,7	NO CUMPLE
PTAR NEGRITOS	3.500.000,0	7.900.000,0	4.410.000,0	5.270.000,0	NO CUMPLE
PTAR PUEBLO NUEVO DE COLAN	1.600.000,0	700.000,0	340.000,0	880.000,0	NO CUMPLE
PTAR SECTOR NOROESTE	9.200,0	70.000,0	33.000,0	37.400,0	NO CUMPLE
PTAR EL ARENAL	10.000,0	100.000.000,0	80.000,0	33.363.333,3	NO CUMPLE
PTAR NARIHUALA	160.000,0	330.000,0	200.000,0	230.000,0	NO CUMPLE
PTAR TAMARINDO	9.000.000,0	8.000.000,0	20.000,0	5.673.333,3	NO CUMPLE
PTAR SAN MARTÍN	-----	29.000.018,0	400.004,0	14.700.011,0	NO CUMPLE
PTAR CHULUCANA	-----	303.000,0	440.000,0	371.500,0	NO CUMPLE
PTAR MÁNCORA	-----	520.000,0	200.000,0	360.000,0	NO CUMPLE
PTAR CATACAOS	-----	29.200.000,0	2.850.000,0	16.025.000,0	NO CUMPLE
PTAR SAN LUCAS DE COLÁN	-----	50.000,0	1.650.460,0	850.230,0	NO CUMPLE
PTAR MIRAMAR	-----	1.000.000,0	46.500,0	523.250,0	NO CUMPLE
PTAR AYPATE	-----	1.300.000,0	96.500,0	698.250,0	NO CUMPLE
PTAR TACALA – LA PRIMAVERA	-----	49.000,0	130.000,0	89.500,0	NO CUMPLE
PTAR EL ALTO	-----	490.000,0	33.000.000,0	16.745.000,0	NO CUMPLE
PTAR VERANDA	-----	2.000.000,0	54.000,0	1.027.000,0	NO CUMPLE
PTAR LAS PALMERAS	-----	2.000.000,0	800.000,0	1.400.000,0	NO CUMPLE
PTAR LANCONES SULLANA	-----	8.000.000,0	70.000,0	4.035.000,0	NO CUMPLE
PTAR SALITRAL	-----	330,0	-----	330,0	ÓPTIMO
PTAR CABO BLANCO	-----	-----	50.000,0	50.000,0	NO CUMPLE
PTAR VICHAYAL	-----	3.000,0	-----	3.000,0	ÓPTIMO
PTAR VIVIATE	-----	10.000.000,0	-----	10.000.000,0	NO CUMPLE
NÚMERO DE PTAR QUE INCUMPLEN LOS LMP	12	26	26	27 EN EL PROMEDIO	

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

a 26 PTAR, una correlación directa con el porcentaje de PTAR que poseen información en dicho periodo (92,86%). Por último, en 2021, la cantidad de PTAR con una calidad del agua deplorable en comparación a los límites de los coliformes termotolerantes es de 26, dicho en otras palabras, el 100% de las PTAR que poseen un historial en el año mencionado incumplen con el parámetro de calidad en cuestión.

Por otro lado, si se refiere a la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

En la Tabla 2, se notó un incremento progresivo en la cantidad de PTAR que incumplen con los LMP. Con respecto al 2019, hubo 5 PTAR que presentaron valores superiores a los del LMP, lo que representa el 38,46% con respecto al total de ese año. Para el 2020, esta cantidad se incrementó a 13 PTAR, llegando a un total de 46,43% de la cantidad de PTAR analizados en dicho año. Finalmente,

en el 2021, hubo 17 PTAR que presentaban excesos con respecto a la DBO, es decir, el 65,38%.

Posteriormente, en función a los valores del parámetro de la Demanda Química de Oxígeno:

El diagnóstico de los valores en la Tabla 3 sugiere que, en el 2019, fueron 8 PTAR los que sobrepasaron la cantidad de DQO tolerable en sus efluentes, siendo un total de 61,54% para las PTAR evaluadas en aquel año. De igual modo, respecto al 2020, este número aumentó a 17 PTAR y su porcentaje a 60,71%, una relación directa con la cantidad de PTAR que poseen datos en ese periodo. Por último, en el 2021, la cantidad de PTAR que incumplen este parámetro es de 18, es decir, el 69,23% de las PTAR en el 2021 vulneran la calidad de los efluentes en cuanto a su DQO.

Por otra parte, con respecto a los Sólidos Suspendidos Totales:

Tabla 2. Análisis estadístico de las PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno estudiados, en el periodo de 2019-2021.

PTAR	DBO (mg/L)			Promedio	LMP 100 mg/L
	2019	2020	2021		
PTAR PAITA	125,0	169,5	66,3	120,3	NO CUMPLE
PTAR CERRO RAJADO	114,0	132,3	96,0	114,1	NO CUMPLE
PTAR CUEVIN EL INDIÓ NUEVO	81,0	82,9	120,5	94,8	ÓPTIMO
PTAR EL INDIÓ REHABILITADA	86,1	123,1	160,5	123,2	NO CUMPLE
PTAR MORROPON	213,0	249,9	115,5	192,8	NO CUMPLE
PTAR MALLARITOS SULLANA	79,0	97,7	227,6	134,8	NO CUMPLE
PTAR LOS ÓRGANOS	193,0	206,0	146,0	181,7	NO CUMPLE
PTAR NEGRITOS	85,0	70,9	66,9	74,3	ÓPTIMO
PTAR PUEBLO NUEVO DE COLAN	52,0	79,9	167,8	99,9	ÓPTIMO
PTAR SECTOR NOROESTE	30,0	52,6	183,8	88,8	ÓPTIMO
PTAR EL ARENAL	36,0	57,0	125,8	72,9	ÓPTIMO
PTAR NARIHUALA	59,0	75,0	115,3	83,1	ÓPTIMO
PTAR TAMARINDO	153,0	57,0	234,4	148,1	NO CUMPLE
PTAR SAN MARTÍN	-----	93,2	48,3	70,7	ÓPTIMO
PTAR CHULUCANA	-----	88,3	135,0	111,6	NO CUMPLE
PTAR MÁNCORA	-----	162,1	134,6	148,3	NO CUMPLE
PTAR CATACAOS	-----	176,4	81,5	128,9	NO CUMPLE
PTAR SAN LUCAS DE COLÁN	-----	76,1	163,9	120,0	NO CUMPLE
PTAR MIRAMAR	-----	207,0	83,5	145,3	NO CUMPLE
PTAR AYPATE	-----	51,8	89,2	70,5	ÓPTIMO
PTAR TACALA – LA PRIMAVERA	-----	93,8	153,0	123,4	NO CUMPLE
PTAR EL ALTO	-----	202,7	387,0	294,9	NO CUMPLE
PTAR VERANDA	-----	80,0	44,3	62,2	ÓPTIMO
PTAR LAS PALMERAS	-----	76,3	33,2	54,8	ÓPTIMO
PTAR LANCONES SULLANA	-----	407,0	106,4	256,7	NO CUMPLE
PTAR SALITRAL	-----	151,5	-----	151,5	NO CUMPLE
PTAR CABO BLANCO	-----	-----	183,2	183,2	NO CUMPLE
PTAR VICHAYAL	-----	251,5	-----	251,5	NO CUMPLE
PTAR VIVIATE	-----	139,8	-----	139,8	NO CUMPLE
NÚMERO DE PTAR QUE INCUMPLEN LOS LMP	5	13	17	19 EN EL PROMEDIO GENERAL	

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

Tabla 3. Análisis estadístico de las PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen el parámetro de Demanda Química de Oxígeno, estudiados en el periodo de 2019-2021.

PTAR	DQO (mg/L)			Promedio	LMP
	2019	2020	2021		200 mg/L
PTAR PAITA	585,0	341,2	268,0	398,1	NO CUMPLE
PTAR CERRO RAJADO	316,0	307,0	225,5	282,8	NO CUMPLE
PTAR CUEVIN EL INDIO NUEVO	176,0	195,9	275,0	215,6	NO CUMPLE
PTAR EL INDIO REHABILITADA	149,0	226,7	107,6	161,1	ÓPTIMO
PTAR MORROPON	707,0	247,4	247,6	400,6	NO CUMPLE
PTAR MALLARITOS SULLANA	276,0	175,5	527,5	326,3	NO CUMPLE
PTAR LOS ORGANOS	750,0	388,4	296,9	478,4	NO CUMPLE
PTAR NEGRITOS	395,0	235,0	153,5	261,2	NO CUMPLE
PTAR PUEBLO NUEVO DE COLAN	159,0	162,5	374,5	232,0	NO CUMPLE
PTAR SECTOR NOROESTE	173,0	112,5	387,5	224,3	NO CUMPLE
PTAR EL ARENAL	79,0	110,0	267,5	152,2	ÓPTIMO
PTAR NARIHUALA	241,0	270,0	235,7	248,9	NO CUMPLE
PTAR TAMARINDO	486,0	142,5	614,8	414,4	NO CUMPLE
PTAR SAN MARTÍN	-----	210,7	151,5	181,1	ÓPTIMO
PTAR CHULUCANA	-----	200,5	317,3	258,9	NO CUMPLE
PTAR MÁNCORA	-----	315,7	317,3	316,5	NO CUMPLE
PTAR CATACAOS	-----	361,9	181,4	271,6	NO CUMPLE
PTAR SAN LUCAS DE COLÁN	-----	170,0	347,8	258,9	NO CUMPLE
PTAR MIRAMAR	-----	515,0	192,4	353,7	NO CUMPLE
PTAR AYPATE	-----	107,5	186,3	146,9	ÓPTIMO
PTAR TACALA – LA PRIMAVERA	-----	192,5	279,0	235,8	NO CUMPLE
PTAR EL ALTO	-----	475,0	387,0	431,0	NO CUMPLE
PTAR VERANDA	-----	170,0	95,1	132,6	ÓPTIMO
PTAR LAS PALMERAS	-----	165,0	77,0	121,0	ÓPTIMO
PTAR LANCONES SULLANA	-----	862,5	233,0	547,8	NO CUMPLE
PTAR SALITRAL	-----	430,0	-----	430,0	NO CUMPLE
PTAR CABO BLANCO	-----	-----	377,5	377,5	NO CUMPLE
PTAR VICHAYAL	-----	517,5	-----	517,5	NO CUMPLE
PTAR VIVIATE	-----	437,5	-----	437,5	NO CUMPLE
NÚMERO DE PTAR QUE INCUMPLEN LOS LMP	8	17	18	23 EN PROMEDIO GENERAL	

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

En la Tabla 4 se observa que, en el 2019, fueron 3 PTAR las que excedieron el LMP en torno a los SST, lo cual representa el 23,08% del total de PTAR evaluadas. De igual manera, en el 2020 se evidencia un aumento en la cantidad de operadoras que sobrepasan este límite, ascendiendo a 9 PTAR y a un porcentaje del 32,14%, todo ello con respecto a la cantidad total de dicho año. En último lugar, durante el 2021, el número de PTAR que incumplían los LMP descendió a 7, lo que se traduce en un 26, 92% del total.

Es preciso resaltar que no todas las PTAR presentan registro de los datos de sus parámetros en los informes anuales, dado que el conjunto no cumple con la cantidad total de plantas de tratamiento existentes en la región de Piura. En concreto desde el 2019 al 2021, solo una gran mayoría apelan sus reportes anuales a la entidad encargada de su supervisión. A consecuencia, se optó por clasificar las PTAR según la cantidad de veces que aparecen en los informes y en los años seleccionados de estudio: los verdes, representan los PTAR que aparecen en 3 años; los amarillos, 2 años y los rojos, 1 año. Así, se logró identificar

que, en el 2019, la cantidad de PTAR con una fuente de datos dentro del informe se limita a solo 13 operadoras. En el 2020, este número ascendió a 28 y en el 2021 se redujo mínimamente a una cantidad de 26 PTAR.

Finalmente, acerca de los demás parámetros de calidad como el **pH, temperatura y, aceites y grasas**, se tiene:

En el análisis de la Figura 2, se observan tres parámetros donde la cantidad de PTAR que incumplen los LMP son relativamente bajos en comparación con los registrados anteriormente; como es el caso del pH, que solo alcanzó un 15,38% como máximo durante el 2019 - 2021. Con relación a la temperatura se observa que el 100% de PTAR no registran valores que sobrepasan el LMP en los tres años. Finalmente se evidencia que, para el caso de los Aceites y Grasas, se obtuvo un 10,75% como máximo con respecto a los PTAR estudiados en el 2020. Cabe resaltar que la cantidad de PTAR varían a lo largo de los tres años según los datos expuestos en los informes anuales.

Tabla 4. Análisis estadístico de las PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales estudiados, en el periodo de 2019-2021.

PTAR	SST (mg/L)			Promedio	LMP 150 mg/L
	2019	2020	2021		
PTAR PAITA	-	260,0	282,3	271,1	NO CUMPLE
PTAR CERRO RAJADO	146,0	155,0	215,0	172,0	NO CUMPLE
PTAR CUEVIN EL INDIÓ NUEVO	38,0	142,5	95,3	91,9	ÓPTIMO
PTAR EL INDIÓ REHABILITADA	61,0	88,0	88,4	79,1	ÓPTIMO
PTAR MORROPON	224,0	108,5	139,5	157,3	NO CUMPLE
PTAR MALLARITOS SULLANA	100,0	60,5	156,0	105,5	ÓPTIMO
PTAR LOS ÓRGANOS	193,0	189,0	155,5	179,2	NO CUMPLE
PTAR NEGRITOS	68,0	108,0	92,25	88,0	ÓPTIMO
PTAR PUEBLO NUEVO DE COLAN	130,0	80,0	112,0	107,3	ÓPTIMO
PTAR SECTOR NOROESTE	112,0	134,0	250,0	165,3	NO CUMPLE
PTAR EL ARENAL	40,0	76,0	85,0	67,0	ÓPTIMO
PTAR NARIHUALA	110,0	96,0	96,0	100,7	ÓPTIMO
PTAR TAMARINDO	302,0	96,0	221,7	206,6	NO CUMPLE
PTAR SAN MARTÍN	-----	141,3	82,3	111,8	ÓPTIMO
PTAR CHULUCANA	-----	90,0	79,0	84,5	ÓPTIMO
PTAR MÁNCORA	-----	104,0	79,0	91,5	ÓPTIMO
PTAR CATACAOS	-----	101,3	49,8	75,5	ÓPTIMO
PTAR SAN LUCAS DE COLÁN	-----	245,0	127,0	186,0	NO CUMPLE
PTAR MIRAMAR	-----	226,0	200,0	213,0	NO CUMPLE
PTAR AYPATE	-----	100,0	87,5	93,8	ÓPTIMO
PTAR TACALA – LA PRIMAVERA	-----	128,0	98,0	113,0	ÓPTIMO
PTAR EL ALTO	-----	265,0	108,0	186,5	NO CUMPLE
PTAR VERANDA	-----	76,0	52,3	64,2	ÓPTIMO
PTAR LAS PALMERAS	-----	68,0	24,0	46,0	ÓPTIMO
PTAR LANCONES SULLANA	-----	150,0	72,5	111,3	ÓPTIMO
PTAR SALITRAL	-----	220,0	-----	220,0	NO CUMPLE
PTAR CABO BLANCO	-----	-----	144,0	144,0	ÓPTIMO
PTAR VICHAYAL	-----	1.920,0	-----	1.920,0	NO CUMPLE
PTAR VIVIATE	-----	270,0	-----	270,0	NO CUMPLE
NÚMERO DE PTAR QUE INCUMPLEN LOS LMP	3	9	7	12	

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

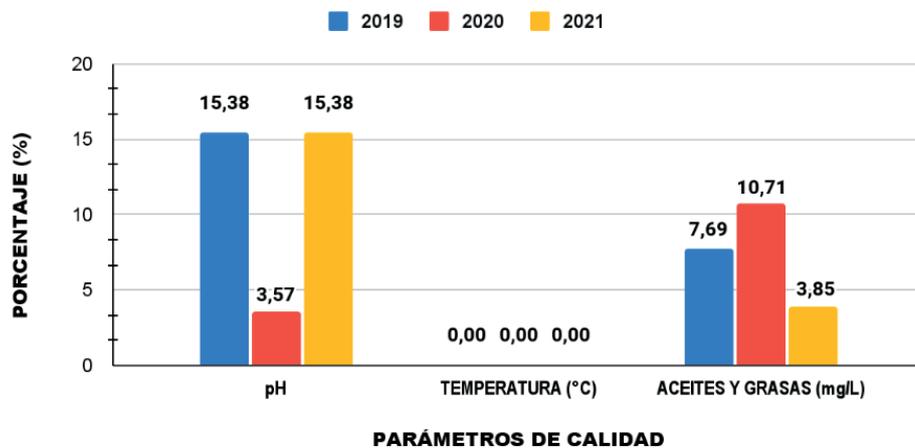


Figura 2. Porcentaje de PTAR pertenecientes a la región de Piura que incumplen los parámetros de pH, Temperatura y Aceites y Grasas de los LMP estudiados en el periodo de 2019-2021.

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Evaluación de los Monitoreos de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019, 2020, 2021).

IV. DISCUSIÓN

Tras de la obtención de los resultados, es posible afirmar que los efluentes de las PTAR del departamento de Piura poseen un alto porcentaje de coliformes termotolerantes (93,10%), es decir, un alto grado de contaminación fecal y una significativa presencia bacteriana (Larrea *et al.*, 2013). Algo que, incluso, se traduce en un alto riesgo de transmisión de enfermedades biológicas, como se expresa generalmente en América Latina. Puesto que, en promedio, son 25 millones de personas las que corren el riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la contaminación de las aguas residuales (Ambrus Steven, 2016, como se citó en Menéndez *et al.*, 2022). De igual forma, la DQO superó el 79,31% de las PTAR, porcentaje que simboliza un alto nivel de contaminación del agua en relación con la materia orgánica total, ya sea biodegradable o no biodegradable, y susceptible a la oxidación química (Corzo *et al.*, 2004). Este parámetro en específico, exterioriza las ineficiencias del proceso de purificación en la planta de tratamiento del lugar de estudio. Análogamente, la DBO exhibe un porcentaje del 65,52% de las PTAR que incumplen sus parámetros, situación que evidencia el nivel concentración de las sustancias orgánicas presentes. Dicho de otra forma, las PTAR de la región de Piura manifiestan una disminución del contenido de oxígeno en sus aguas residuales, un factor que incluso puede llegar a afectar a las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos cercanos (Cusiche *et al.*, 2019). Con respecto a la presencia de los SST, las PTAR exponen un 41,38% de infracción. Una proporción que, a pesar de ser menor a la mitad, representa una preocupación, pues gracias a estos valores se tiene una clara indicación de la presencia de residuos sólidos sedimentados en los efluentes. Además, los SST transportan cargas de nutrientes, restos de pesticidas, metales pesados y otros elementos contaminantes (Bradley *et al.*, 2000, como se citó en Beltrán *et al.*, 2012).

Por otro lado, existen otros parámetros que han cedido los LMP, aunque en menor medida. Cabe destacar que, en el caso de presentar un exceso, traería consigo consecuencias negativas. Por ejemplo, el aumento de porcentaje de los aceites y grasas contribuiría a la obstrucción de las tuberías y produciría malos olores, además de inhibir la proliferación de los microorganismos, pues conforma el 10% de los componentes orgánicos (Vásquez, 2003, como se citó en Carrillo *et al.*, 2021). Pese a ello, se valora el grado estable del pH en los efluentes de las plantas, debido a “valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los químicos del agua y movilizar los contaminantes” (Pardo *et al.*, 2022).

Agregando a lo anterior, dicho análisis se correlaciona con los resultados obtenidos en López (2018), donde se expresan datos que se acercan a los valores y refuerzan la veracidad de nuestras interpretaciones, tal cual lo ejemplifica los 1150.00 DBO gr/lit arrojados en el análisis de la PTAR El arenal. Sin embargo, no se puede arribar a una conclusión definitiva a partir de solo estos datos, puesto que, también es importante la consideración de otros aspectos involucrados en la dinámica, como las condiciones ambientales del espacio geográfico, el número de población, el grado de contaminación del afluente, el caudal del agua o el sistema de tratamiento seleccionado. Este último, en

especial, depende del número de operaciones por la que pasa el afluente antes de ser vertido al ambiente, y define la efectividad del proceso de depuración. Con todo ello, existe una gran tentativa por afirmar que los efluentes de las PTAR en la región de Piura, durante el periodo 2019-2021, poseen una baja calidad del agua al punto de ser factible considerarlas como aguas contaminadas en gran medida.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, la calidad de los efluentes de las PTAR de la región de Piura durante 2019 – 2021 fue baja con respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estudiados. En especial, se registraron altibajos en un total de seis de las siete medidas, las cuales presentan datos que sobrepasan los LMP establecidas en la normativa. Siendo cuatro parámetros, en específico, las que sobrepasan el 40% del límite. El exceso de los Coliformes termotolerantes, la Demanda Química de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos Totales, revela la gran problemática del tratamiento de las aguas residuales domésticas que ostenta la región de Piura. De ahí que, estos valores representan una advertencia, además de la contaminación de los efluentes, pues estos niveles cuentan con el potencial de influir en la calidad del agua, la salud pública de las poblaciones cercanas y la de los ecosistemas. Por lo tanto, se observa una clara necesidad de implementar una mejor política de gestión del tratamiento de aguas residuales, acompañado con una planificación a nivel de cuenca que permita el aprovechamiento óptimo de las instalaciones y los programas de saneamiento, a fin de cambiar este paradigma (Rodríguez *et al.*, 2020).

VI. REFERENCIAS

- Beltrán, J. & Rangel, J. (2012). Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal Jaboque, Bogotá (Colombia). *Colombia forestal*, 15(2), 191-205. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.2.a04>
- Carrillo, W., Negrete, J., Loor, A., Osorio, M. & Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 228-245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Corzo, M., Girón, M. & Rodolfo, C. (2004). Floculación como tratamiento en las aguas residuales de la industria avícola, utilizando sulfato de aluminio en un sistema de simulación en laboratorio. [Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico, Universidad San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF880.pdf>
- Cusiche, L. & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>
- Díaz, E., Alvarado, A. & Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 78-97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>

- Larios, F., Gonzáles, C. & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), 8-25. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181229302004>
- López, E. (2018). Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Alto, Talara Piura [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Ambiental]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1289>
- Malca, N. & Meza, F. (2021). Caracterización de aguas residuales en la industria de empaques de cartón: Caso: cartones Villa Marina. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 24(47), 109–115. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.18840>
- Maschio, D. (2019). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Revisión y análisis crítico del instrumento de Naciones Unidas para garantizar el Derecho Humano al Agua y el Saneamiento. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2020/02/ESFeres25-ODS-A5-web.pdf>
- Menéndez, J., Flores, J., Noles, P., Menéndez, C. & Espinel, V. (2022). Capacidad auto depurativa del río Carrizal sobre efluentes de la laguna de oxidación. Calceta. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 25(49), 65-72. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.19681>
- Méndez, L., Ramos, P. & Arce, O. (2017). Diagnóstico del uso del agua y vertimientos de efluentes líquidos en el Perú (2013-2015). *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 20(39), 123–136. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i39.14175>
- MVCS. (2019). Evaluación de los monitoreos de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales, para el periodo 2019. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1677634/Informe%20Estad%C3%ADstico%20Anual.pdf?v=1613522663>
- MVCS. (2020). Evaluación de los monitoreos de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales, para el periodo 2020. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1913689/Informe%20Estad%C3%ADstico%20Anual.pdf?v=1622064187>
- MVCS. (2021). Evaluación de los monitoreos de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales, para el periodo 2021. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3074750/Informe%20Estad%C3%ADstico%20Anual.pdf?v=1652190479>
- Pardo, L. & Santamaria, K. (2022). Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Quinindé provincia de Esmeraldas. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/64353>
- Rodríguez, D., Serrano, H., Delgado, A., Nolasco, D. & Saltiel, G. (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Banco Mundial. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf>

Contribución de autoría

Conceptualización: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Curación de datos: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Análisis formal: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Adquisición de fondos: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Investigación: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Metodología: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Administración del proyecto: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Recursos: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Software: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Supervisión: (Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay, Nora Rosa Concepción Malca Casavilca; Validación: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay, Nora Rosa Concepción Malca Casavilca); Visualización: (Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Redacción - borrador original: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay; Redacción - revisión y edición: Carlos Alberto Alcántara Alfaro, Dallin De la Cruz Gutierrez, Adan Schneider Julián Soto, Cintya Melissa Mera Villalobos, Mariana Lisbeth Montoya Castillo, Mayumi Rubi Sanchez Huayanay.