

Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales y propuesta de solución en la localidad de Pucará – 2023

Evaluation of the wastewater treatment plant and proposed solution in the town of Pucara – 2023

José Pacori Pacori^{1,*} y Percy Arturo Ginez Choque¹

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Resumen

Las aguas residuales en el distrito de Pucará son un problema ambiental en vista que el efluente de la PTAR viene descargado al río Pucará y estas aguas residuales superan los LMP debido a una inadecuada selección del sistema para la zona. El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar la remoción de la PTAR y se propuso una alternativa de solución mediante una tecnología eficiente. La investigación se ubicó dentro del tipo no experimental y del enfoque cuantitativo en vista que se habla de cantidades en donde se tomó 12 muestras en época de avenida y 12 en época de estiaje en cada proceso unitario. Dentro de los resultados obtenidos se obtuvo los siguientes resultados en el efluente de la PTAR para los SST resultó igual a 146,49 mg/l, para la DBO₅ resultó igual a 194,5 mg/l, para la DQO igual 414.1 mg/l, aceites y grasas igual 9,25 mg/l y para los coliformes igual a 3762500 NMP/100ml, estos valores superan los LMP con excepción de los SST y los aceites y grasas, se propuso la tecnología MBBR en vista que esta tecnología es la más eficiente para la remoción de la materia orgánica y se realizó la contrastación de la hipótesis mediante la estadística de t student pareada debido a que se tomó muestras en dos épocas distintas. Se concluye que la deficiencia en la PTAR se debe a las bajas temperaturas en la zona y el sistema planteado MBBR cumple con los LMP.

Palabras clave: Agua residual, caudal, DBO₅, evaluación, planta de tratamiento.

Abstract

Wastewater in the Pucará district is an environmental problem since the effluent from the WWTP is discharged into the Pucara River and this wastewater exceeds the LMP due to an inadequate selection of the system for the area. The objective of the research work was to evaluate the removal of the WWTP and an alternative solution was proposed using efficient technology. The research was located within the non-experimental type and the quantitative approach since it speaks of quantities where 12 samples were taken during the flood season and 12 during the dry season in each unit process. Within the results obtained the following results were had in the effluent of the WWTP for the TSS resulted equal to 146.49 mg / l, for the BOD5 resulted equal to 194.5 mg / l, for the COD equal to 414.1 mg / l, oils and fats equal to 9.25 mg / l and for the coliforms equal to 3762500 NMP / 100 ml, these values exceed the LMP with the exception of the TSS and the oils and fats, the MBBR technology was proposed in view of the fact that this technology is the most efficient for the removal of the organic matter and the hypothesis was contrasted by means of the t student statistics paired because samples were taken in two different periods. It is concluded that the deficiency in the WWTP is due to the low temperatures in the area and the proposed system complies with the LMP.

Keywords: Wastewater, flow, BOD₅, evaluation, treatment plant.

Recibido: 03/01/2025

Aceptado: 28/03/2025

Publicado: 31/03/2025

***Autor para correspondencia:** josepacori12345@gmail.com

Cómo citar: Pacori Pacori, J., & Ginez Choque, P. A. (2025). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales y propuesta de solución en la localidad de Pucará – 2023. *Revista de Investigaciones*, 14(1), 45-55. <https://doi.org/10.26788/ri.v14i1.6641>

Introducción

El problema de las aguas residuales viene agravándose esto se debe a que no se está tratando adecuadamente las poblaciones de bajos recursos económicos son las que mayormente son las más afectadas por la escasez y la contaminación del recurso hídrico (Unzueta, 2004). En el Perú gran parte de las estaciones depuradoras de aguas residuales no tienen el debido tratamiento esto debido a una visión equivocada de las EPS, y esto conlleva contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Méndez & Marchán 2008). Segundo el D.S N° 075-2013-PCM de la comisión multisectorial para la recuperación del Lago Titicaca, establecieron que las PTAR en la región de Puno son del tipo de lagunas de oxidación y muchas de estas no operan eficientemente debido a un diseño deficiente y a un inadecuado mantenimiento de las lagunas (MINAM, 2013). Segundo Noyola et al. (2000) establece que los sistemas de drenaje juegan un papel importante en las características esto conlleva a la contaminación y cantidad del agua residual ya que las tuberías dañadas producen pérdidas de agua residual infiltrándose al suelo. Por otro lado, la evaluación de la eficiencia se realiza en el pretratamiento, tanque de sedimentación, reactores aerobios de la PTAR (Lehmann, 2016). Segundo el D.S 003-2010-MINAN establece los siguientes parámetros para los LMP como son la DBO_5 , DQO, SST, aceites y grasas, pH, temperatura y coliformes termotolerantes (MINAM, 2010). El ministerio de vivienda construcción y territorio de Colombia establece las eficiencias para la remoción en los cribados, desarenadores, trampa de grasas, decantadores primarios, tanque Imhoff, lagunas aerobias, UASB, filtros anaerobios, lodos activados, filtros percoladores, rayos UV, cloración (MVCT, 2017). Segundo el reglamento nacional de edificaciones establece las eficiencias para la remoción de la DBO , SST y bacterias en cuanto a los procesos de tratamientos considera solo al decantador primario, lodos activados, filtros percoladores, zanjas de oxidación y lagunas de estabilización (OS 090, 2006). Segundo el diagnóstico de las PTAR el Gobierno central invirtió 8636 millones de soles para las mejoras de los sistemas de saneamiento en el Perú en donde se recolectó información actual posterior a ello se realizó la visita insitu (Zela, 2022). Los proyectos de saneamiento con

poblaciones mayores a 2000 habitantes deberán de basarse a lo establecido en el RNE obras de saneamiento (OS 070, 2006). Cada cuerpo de agua puede purificarse por sí misma siempre que esta agua no tenga exceso de contaminación ya que en el agua, rocas existen bacterias que metabolizan y posterior a ello purifican el agua (Tina, 2015). En el pretratamiento de una PTAR las rejillas están espaciadas a 3 cm esto con la finalidad de separar las sustancias gruesas, para depositar los sólidos gruesos se instala una canasta con la finalidad de realizar el mantenimiento adecuado (Cortinéz, 2013). En las lagunas de maduración los tiempos de retención se proyectan con un largo periodo de tiempo promedio de 7 días, la remoción de los coliformes fecales se puede calcular en base a modelos de mezcla completa (Romero, 2005). Los reactores UASB son alternativas de sistemas de tratamiento anaerobio, en donde tiene alta velocidad de sedimentación ya que tratan lodos granulares, en donde permiten concentrar grandes cantidades de lodos, los reactores UASB, han demostrado alta eficiencia (Vivanco, 2018). En las PTAR los filtros percoladores están cubiertos por limo, en donde el agua residual circula de arriba hacia abajo percolando sobre el material filtrante, dentro del sistema de filtro percolador existe una capa aerobia en donde las bacterias degradan la materia orgánica (Ramalho, 1983). En los sistemas de lodos activados existe la recirculación de lodos esto con la finalidad de contar con altas concentraciones de lodos, el diseño de estos sistemas se realiza en función de los parámetros biocinéticos (Delgadillo, 1999). Una amplia variedad de aguas residuales puede tratarse mediante los sistemas anaerobios estos sistemas son atractivos cuando la carga orgánica es alta y la temperatura del medio es adecuada (Márquez & Martínez 2011). En el distrito de Ajoyani se realizó la evaluación de una planta de tratamiento en donde se tuvo una remoción de la DBO_5 del 80,60 %, la DQO del 80,59 % y SST del 7,77 % (Callata, 2013). La planta de tratamiento de aguas residuales en San José – Lambayeque operaba deficientemente con la finalidad de mejorar la calidad del agua se rediseño la alternativa propuesta cumple con la normatividad para el uso agrícola (Gutiérrez, 2015). En la ciudad de Cajabamba se determinó la eficiencia de la PTAR, en donde se evaluaron parámetros como la DBO_5 , DQO, SST, coliformes termotolerantes,

aceites y grasas, se tomaron muestras al ingreso y en la salida en donde se tuvo una remoción de la DBO₅ del 23 % y de la DQO del 27,60 % (Núñez, 2019). En la laguna de Espinar de Puno se realizó la construcción de un sistema RAFA para el tratamiento del agua residual en donde se utilizó 16 l de agua con una retención hidráulica de 9.6 horas en donde se encontró eficiencias para de DBO₅ del 80 % y para la DQO del 77 % (Chuquitarqui, 2017). En la Provincia de Lima se determinó la eficiencia del tratamiento secundario mediante un biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en donde estuvo formada por capas como estiercol de vacuno, malla Ratchet, arena gruesa y agregados, en donde demostró que el filtro de *Eisenia foetida* es menos eficiente que el filtro tradicional (Loro, 2018). En Moquegua se evaluó tres sistemas de depuración de aguas residuales en donde tomo muestras en la salida de la laguna de estabilización y se analizó los parámetros físico, químico y microbiológico en donde el más eficiente fue *Esenia foetida* más *eichhornia crassiper* (Cáceres, 2018). Las lagunas de oxidación son un sistema en donde se realiza el tratamiento de agua de forma sencilla sin embargo la alta concentración de carga orgánica y la falta de mantenimiento es que viene provocando una deficiencia en este tipo de lagunas (Auccatinco, 2021). La falta del tratamiento de las aguas residuales en el país es uno de los problemas más críticos y esto viene provocando la perdida de la flora y fauna, así mismo viene ocasionando enfermedades en las personas de escaso recursos económicos (Nevado, 2022). En el distrito de Ambar provincia de Huaura – Lima se tiene una PTAR mediante tanques Imhoff es por el ello se planteó cámara de rejas, cámara de reunión, tanque Imhoff, lecho de secado, filtro biológico y cámara de cloración con la finalidad de mejorar la calidad de las aguas residuales (Cortabrazo, 2021). En el efluente de la PTAR de la mina San Rafael distrito de Antauta Provincia de Melgar se analizaron los parámetros físicos, químico y microbiológico esto de acuerdo a los LMP, en donde estos parámetros están dentro de lo establecido por la normativa (Paredes, 2022). En el distrito de Chucuito provincia de Puno se evaluó la eficiencia de la PTAR en esto de acuerdo a los LMP en donde se tomaron muestras de la DBO₅, DQO, SST, pH, resultado en algunos casos valores negativos por lo que la PTAR es deficiente (Tito, 2021). Según Gómez & Larrota (2018), para la evaluación de la eficiencia de la PTAR en la

provincia comunera se recolecto información bibliográfica y la visita insitu, en donde el 23 % de los municipios cuentan con sistema de tratamiento pero que estas son deficientes. Según Echeverría et al. (2021) realizó la evaluación de la eficiencia de una laguna de estabilización incorporando reactor anaerobio en donde se ha reducido la DBO₅, DQO y SST, en donde la eficiencia de la PTAR para la DBO₅ fue del 55 %. Pacori (2022) en su investigación realizada a una laguna facultativa evaluó la eficiencia esto según los LMP encontrando que los valores de la DBO₅, DQO y SST están por encima de los LMP.

Métodos

Lugar de estudio

El lugar de estudio se encuentra situado en el departamento de Puno, provincia de Lampa y distrito de Pucará a una altitud de 3892 m.s.n.m, en las coordenadas 15° 02' 56"S 70° 22' 43" O.

Frecuencia de muestreo

Se realizo la toma de muestras en la PTAR en época de avenida y estiaje, en época de avenida se tomó 12 puntos de muestreo y en épocas de estiaje se tomó 12 puntos de muestreo, de acuerdo a lo siguiente se tomó 01 en el afluente del tratamiento preliminar, 01 muestra en el efluente del tratamiento preliminar, 01 muestra en el efluente de la laguna anaerobia, 04 muestras se tomaron en los afluentes de la laguna de maduración, 04 muestras en los efluentes de la laguna de maduración y 01 muestra en el efluente de la PTAR, esto con la finalidad de evaluar la eficiencia en el pretratamiento, en la laguna anaerobia, en la laguna facultativa y en la laguna de maduración, posterior a ello comparar las eficiencias de la PTAR con la normativa colombiana (MVCT, 2017) y con el manual de (Ortega et al. 2010) en vista que la norma (OS 090, 2006) es limitada, una vez evaluada y comparada se determinó las deficiencias en el sistema teniendo como principal factor la temperatura el inadecuado diseño y la falta de operación y mantenimiento. Por otro lado, se determinó los caudales del río aguas arriba y el caudal del efluente de la PTAR esto por el método del flotador y con la finalidad de realizar el balance de masas y seleccionar el sistema más adecuado.

Procedimiento

La toma de muestras se realizó siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales, en frascos de 1000 ml y de 500 ml, se almacenó en un cooler con hielo, así mismo los frascos se rotularon, el tiempo promedio de traslado desde el lugar de muestreo al laboratorio fue de 2 horas. Se realizó el análisis de los siguientes parámetros: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, pH, SST, temperatura.

Las variables para el presente artículo fueron: Planta de tratamiento que viene a ser la variable dependiente y aguas residuales es la variable independiente.

Para el presente artículo se utilizó el programa minitab 22, se aplicó el t student de muestras pareadas por ser estas muestras en el mismo lugar

y en diferentes épocas. Se trabajo con un nivel de confianza del 95 % y nivel de significancia del 5 %.

Resultados y discusión

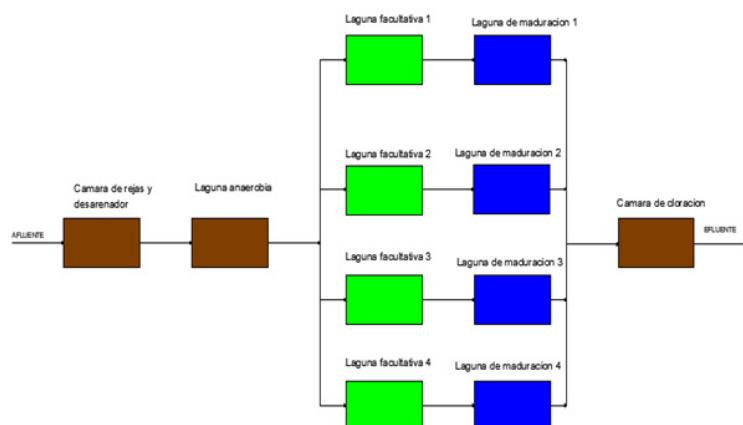
Evaluación de la calidad físico, químico y microbiológico del agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales según el DS N° 003 – 2010 -MINAM

Se muestran los valores promedio de los parámetros tomados en los procesos de tratamiento, para los SST se obtuvo 146,49 mg/l y este valor es esta ligeramente por debajo de los LMP, para la DQO se obtuvo 414,1 mg/l y este valor está por encima de los LMP, para los aceites y grasas se obtuvo 9,25 mg/l este valor está por debajo de los LMP, para la DBO₅ se obtuvo 194,5 mg/l y está por encima de los LMP y para los coliformes termotolerantes se obtuvo 3762500 NMP/100ml y este está por encima de los LMP (Tabla 1).

Tabla 1
Parámetros del agua residual en los procesos de tratamiento

Tipo de tratamiento	Und	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)
Afluente del tratamiento preliminar 1	mg/l	348,48	1263,5	15,7	505,4	22050000
Afluente de la laguna anaerobia 1	mg/l	345,43	1250,5	13,2	493,2	22050000
Afluente de las lagunas facultativas	mg/l	240,32	948	11,65	369,8	16995000
Afluente de la laguna de maduración 1	mg/l	175,48	592,4	9,4	238,3	9620000
Afluente de la laguna de maduración 2	mg/l	174,9	589	9,8	236,43	9515000
Afluente de la laguna de maduración 3	mg/l	173,83	589,1	9,7	235,9	9418500
Afluente de la laguna de maduración 4	mg/l	169,40	586,7	9,9	235,3	9394500
Efluente de la laguna de maduración 1	mg/l	151,72	417	9,4	197,4	3767500
Efluente de la laguna de maduración 2	mg/l	145,37	414,6	9,35	194,9	3755000
Efluente de la laguna de maduración 3	mg/l	149,95	410,2	9,15	193,7	3766000
Efluente de la laguna de maduración 4	mg/l	139,56	413,6	9,25	191,8	3760500
Efluente de la PTAR	mg/l	146,49	414,1	9,25	194,5	3762500

Figura 1
Diagrama de flujo de la PTAR



Análisis estadístico para los parámetros físico químico y microbiológico

Para un nivel de significancia del 5 % y con un nivel de confianza al 95 %, y con 22 grados de libertad, para t pareada en vista que se tomó muestras en época de estiaje y avenida y en la misma zona, se obtienen valores menores de $P < 0,05$, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

Como el valor de $P < 0,05$, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, así mismo el t calculado resulta menor a -2,074 y esta cae en la región sombreada por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Membrillo (2022) en su investigación realizada en el efluente de la PTAR obtuvo 19 mg/l de la DQO está dentro de los LMP. Pacori (2022) en su

investigación realizada obtuvo 470 mg/l y este valor supera los LMP.

Andrade (2020) en su investigación realizada en una laguna obtuvo un valor de 44 mg/l de SST, valor que está por debajo de los LMP.

Andrade (2020) en su investigación realizada obtuvo 209 mg/l de la DQO esto en un tratamiento mediante lagunas de estabilización, por lo que superó los LMP.

Mamani (2018) en su investigación realizada obtuvo 13 mg/l de la DQO valor que está por debajo de los LMP.

Ortega (2019) en su investigación realizada obtuvo 24000 NMP/100ml de coliformes, valores que están por debajo de los LMP.

Tabla 2

Análisis estadístico de los parámetros

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
SST mg/l (temporada de avenida)	12	203,0	75,1	21,7
SST mg/l (temporada de estiaje)	12	190,4	75,0	21,6
DQO (Temporada de avenida)	12	643,9	301,9	87,1
DQO (Temporada de estiaje)	12	670,9	335,9	97
A y G (Temporada de avenida)	12	10,225	1,938	0,559
A y G (Temporada de estiaje)	12	10,808	2,109	0,609
DBO ₅ (Temporada de avenida)	12	271,9	108,5	31,3
DBO ₅ (Temporada de estiaje)	12	277,4	125	36,1
Coliformes (época de avenida)	12	10384500	6806430	1964847
Coliformes (época de estiaje)	12	9257917	7155318	2065562

Figura 2

Grafica de distribución a dos colas



Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales

Según se muestra en la se evaluó las eficiencias en cada proceso de tratamiento en el pretratamiento se obtuvo 2,42 % de remoción de la DBO, en la laguna anaerobia se obtuvo 23,14 % de remoción de la DBO₅, en la laguna facultativa se obtuvo 37,05 % de remoción de la DBO₅ y en la laguna de maduración se obtuvo 17,16 % de remoción de la DBO₅. Para la DQO se obtuvo lo siguiente en el pretratamiento se obtuvo 1,02 mg/l de la DQO, en la laguna anaerobia se tuvo 24,17 %, en la laguna facultativa se obtuvo 37,48 % y en la laguna de maduración se obtuvo 29,52 %. Para

los SST se obtuvo las siguientes eficiencias en el pretratamiento se tuvo 0,88 %, en la laguna anaerobia se tuvo 30,44 %, en la laguna facultativa se tuvo 27,01 % y en la laguna de maduración se tuvo 13,62 % de remoción. Para los aceites y grasas se obtuvo las siguientes eficiencias en el pretratamiento se tuvo 15,92 %, en la laguna

anaerobia se tuvo 11,74 %, en la laguna facultativa se tuvo 15,0 % y en la laguna se maduración se tuvo 5,03 %. Para los coliformes termotolerantes se tuvo las siguientes remociones en el pretratamiento se tuvo 0 %, en la laguna anaerobia se tuvo 22,92 % de remoción, en la laguna facultativa se tuvo 43,50 % y en la laguna de maduración 60,93 % (Tabla 3).

Tabla 3
Eficiencia de la PTAR para los parámetros

Tipo de tratamiento	% promedio de la eficiencia para la DBO ₅	% promedio de la eficiencia para la DQO	% promedio de la eficiencia para los SST	% promedio de la eficiencia para los aceites y grasas	% promedio de la eficiencia para los coliformes termotolerantes
Tramo 1-2-3-4-5-12					
Rejas y desarenador	2,42	1,02	0,88	15,92	0
Laguna anaerobia	23,14	24,17	30,44	11,74	22,92
Laguna facultativa 1	37,05	37,48	27,01	15,02	43,5
Laguna de maduración 1	17,16	29,52	13,62	5,03	60,93
Tramo 1-2-3-6-7-12					
Rejas y desarenador	2,42	1,02	0,88	15,92	0
Laguna anaerobia	23,14	24,17	30,44	11,74	22,92
Laguna facultativa 2	37,48	37,84	27,24	15,88	44,13
Laguna de maduración 2	17,66	29,6	16,90	4,58	60,58
Tramos 1-2-3-8-9-12					
Rejas y desarenador	2,42	1,02	0,88	15,92	0
Laguna anaerobia	23,14	24,17	30,44	11,74	22,92
Laguna facultativa 3	37,69	37,83	27,68	16,74	44,71
Laguna de maduración 3	17,89	30,37	13,81	5,66	60,02
Tramos 1-2-3-10-11-12					
Rejas y desarenador	2,42	1,02	0,88	15,92	0
Laguna anaerobia	23,14	24,17	30,44	11,74	22,92
Laguna facultativa 4	37,85	38,08	29,52	15	44,85
Laguna de maduración 4	18,49	29,5	17,60	6,56	59,98

Tabla 4
Análisis estadístico de la eficiencia

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
DBO ₅ (avenida)	4	35,733	0,396	0,198
DBO ₅ (estiaje)	4	39,297	0,298	0,149
DQO (avenida)	4	36,685	0,310	0,155
DQO (estiaje)	4	38,925	0,207	0,104
SST (Temporada de avenida)	4	27,258	1,384	0,692
SST (Temporada de estiaje)	4	28,465	0,972	0,486
A y G (Temporada de avenida)	4	15,510	1,180	0,590
A y G (Temporada de estiaje)	4	15,832	0,682	0,341
Coliformes (época de avenida)	4	39,440	0,153	0,077
Coliformes (época de estiaje)	4	49,148	1,136	0,568

Para un nivel de significancia del 5 %, y con un nivel de confianza al 95 %, se obtiene un $p = 0,000$, y un t igual a -1475,31

Como el valor de $p = 0,000$ es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula

Figura 3*Gráfica de distribución a dos colas*

Como el t calculado es menor que el t tabla = -2.447 cae en la zona sombreada por lo tanto de rechaza hipótesis nula.

Según Fajardo (2021) en su trabajo de investigación realizó la evaluación de la eficiencia de reactores anaerobios de la toma de muestras para la DBO_5 resultó 76 % de remoción que viene a ser una buena eficiencia esto debido a que se

realizó un mantenimiento y la zona es adecuada para este sistema.

(Echeverría et al. 2021) en su investigación encontró una eficiencia de la DBO_5 del 55 %, esto debido a que se incorporó un reactor anaerobio, esta eficiencia es para todo el sistema de tratamiento. Desye et al. (2022) encontró eficiencias para la remoción de la DBO_5 hasta 75,3 %.

Propuesta de solución a la contaminación por parte de las aguas residuales

De acuerdo a la evaluación realizada en las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración según (Cortés et al. 2017) menciona que la profundidad promedio de las lagunas anaerobias está a 4 m, para las lagunas facultativas la profundidad promedio está a 2 m y para las lagunas de maduración están a 1m, en la PTAR Pucara no se cumplió con estas profundidades en vista que las lagunas facultativas con la laguna de maduración tuvieron una profundidad promedio de 0,80m, esto hace de que no se tenga un buen tiempo de retención hidráulica.

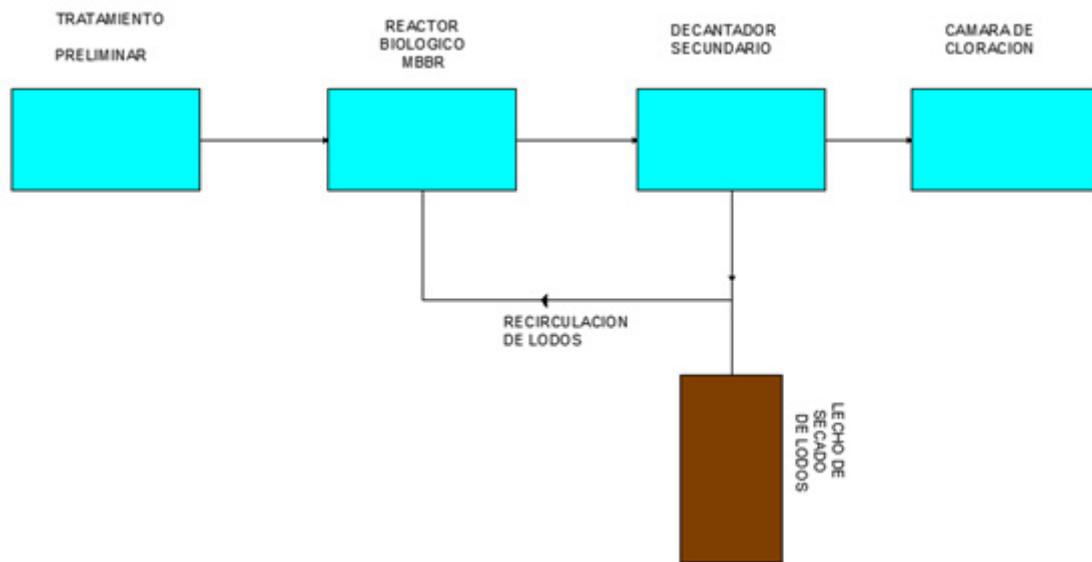
Figura 4*Diagrama de flujo propuesto*

Tabla 4

Remoción de la PTAR propuesta

Parámetros	% de remoción en el pretratamiento	% de remoción en el MBBR	% de remoción en la cámara de cloración
DBO ₅	5 %	90 %	0 %
DQO	5 %	85 %	0 %
Sólidos Suspensidos totales	5 %	90 %	0 %
Aceites y grasas	20 %	0 %	0 %
Coliformes fecales	0 %	85 %	99,9 %

Tabla 5

Análisis estadístico para la PTAR propuesta

Parámetro	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95 % para μ
Para la DBO ₅	6	279	251	102	485
DQO	6	728	593	242	1215
SST	6	181,8	163,6	66,8	316,4
Aceites y grasas	6	13,500	1,323	0,540	14,588
Coliformes termotolerantes	6	12155553109605084474609			21172106

Planteamiento de la hipótesis para la DBO₅

Hipótesis nula H₀: diferencia_{-μ} = 524,8

Hipótesis alterna H_i: diferencia_{-μ} < 524,8

Para $\alpha = 0,05$, que viene a ser el nivel de significancia y con un nivel de confianza al 95%, se obtiene un p = 0,031, como p < 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Planteamiento de la hipótesis para la DQO

Hipótesis nula H₀: diferencia_{-μ} = 1312

Hipótesis alterna H_i: diferencia_{-μ} < 1312

Para $\alpha = 0,05$, que viene a ser el nivel de significancia y con un nivel de confianza al 95 %, se obtiene un p = 0,030, y un t igual a -2,41.

Planteamiento de la hipótesis para los SST

Hipótesis nula H₀: diferencia_{-μ} = 342,52

Hipótesis alterna H_i: diferencia_{-μ} < 342,52

Para $\alpha = 0,05$, que viene a ser el nivel de significancia y con un nivel de confianza al 95%, se obtiene un p = 0,031, como p < 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Planteamiento de la hipótesis para los aceites y grasas

Hipótesis nula H₀: diferencia_{-μ} = 342,52

Hipótesis alterna H_i: diferencia_{-μ} < 342,52

Para $\alpha = 0,05$, que viene a ser el nivel de significancia y con un nivel de confianza al 95%, se obtiene un p = 0,031, como p < 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Planteamiento de la hipótesis para los coliformes termotolerantes

Hipótesis nula H₀: diferencia_{-μ} = 22100000

Hipótesis alterna H_i: diferencia_{-μ} < 22100000

Para $\alpha = 0,05$, que viene a ser el nivel de significancia y con un nivel de confianza al 95%, se obtiene un p = 0,038, como p < 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula

Figura 5

Grafica de distribución a una cola



En el análisis estadístico el valor de t calculado que es menor al t de la tabla -2,015 y está cae dentro de la región sombreada, podemos afirmar que rechazamos la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna para todos los parámetros.

Andrade (2020), en su investigación obtuvo 44 mg/l de SST valor que está por debajo de los LMP.

Membrillo (2022), en su investigación realizada obtuvo una DBO₅ de 2 mg/l valor que está por debajo de los LMP.

Andrade (2020) en su investigación obtuvo 44 mg/l de SST valor que está por debajo de los LMP.

Conclusiones

En el efluente de la PTAR los parámetros como la DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes resultaron 194,5 mg/l, 414,1 mg/l y 3762500 NMP/100ml respectivamente todos estos valores superan los LMP, en cuanto a los SST, temperatura, pH, aceites y grasas estos están por debajo de los LMP. La evaluación de la eficiencia en la PTAR este tuvo deficiencias en las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración, la remoción para la DQO en la laguna facultativa fue del 37,81 %, para la DBO₅ fue del 37,52 % y para los SST fue del 27,86 % todos estos valores están por debajo de las normas internacionales por lo que el sistema es deficiente debido a las bajas temperaturas de las zonas. Se ha propuesto como una alternativa de solución para la localidad de Pucara al sistema MBBR esto de acuerdo a un balance de masas y

por ser el más eficiente que las demás tecnologías ya que la eficiencia de la remoción de un sistema MBBR está en un 90 % de la DBO₅, por lo que se recomienda que incorporar la tecnología MBBR esto con la finalidad de obtener agua para riego.

Contribución de los autores

Conceptualización, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Curación de datos*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Análisis formal*, Pacori Pacori, J. (80%), Ginez Choque, P. A. (20%); *Adquisición de fondos*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Participación en la investigación*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Metodología*, Pacori Pacori, J. (60%), Ginez Choque, P. A. (40%); *Administración del proyecto*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Recursos*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Software*, Pacori Pacori, J. (80%), Ginez Choque, P. A. (20%); *Supervisión*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Validación*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Visualización*, Pacori Pacori, J. (70%), Ginez Choque, P. A. (30%); *Redacción—borrador original*, Pacori Pacori, J. (80%), Ginez Choque, P. A. (20%); *Redacción—revisión y edición*, Pacori Pacori, J. (80%), Ginez Choque, P. A. (20%). Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Referencias

- Andrade R. 2020. Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, Perú. 101 pp. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./241>
- Auccatinco, H. R. (2021). Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia de Quispicanchi–Cusco. Tesis. Universidad Continental, Cusipata. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11355>
- Cáceres, P. (2018). Evaluacion de tres sistemas de depuración para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en Moquegua. Tesis. Universidad José Carlos

- Mareategui, Moquegua. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12819/424>
- Callata, B. (2013). Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani-Carabaya. *Tesis.* Universidad Nacional del Altiplano, Carabaya. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4532>
- Chipana, J. (2019). Análisis de la eficiencia de las lagunas de estabilización de ilave, perú birf y su efecto en la contaminación del río ilave. *Tesis.* Universidad Privada San Carlos, Ilave. Obtenido de <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4523>
- Chuquitarqui, D. (2017). Diseño y construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puno. *Tesis de grado.* Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4499>
- Cortabrazo, L. (2021). Evaluación de la propuesta y mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el centro poblado de Ambar-Huaura-Lima. *Tesis.* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Ambar. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4592>
- Cortinéz, A. (2013). Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. Coyoacan: Conagua.
- Delgadillo, S. (1999). Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. México: Azcapotzalco.
- Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2020). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio. *Scielo,* 9. doi:DOI: 10.23881/idupbo.020.1-3i
- Esteban, J. Z., & Olivas Aranda, G. (2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las empresas prestadoras 2022. Lima: Sunass.
- Gómez, W. F., & Larrota, R. S. (2018). Evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamientos de aguas residuales en la provincia Comunera, Santander, Colombia. 13. doi: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n32.377>
- Gutiérrez, Q. A. (2015). Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en San José para reuso con fines agrícolas. *Tesis.* Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Chiclayo. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3623>
- Lehmann, A. H. (2016). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. Madrid: Carceta.
- Loro, O. A. (2018). Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con eisenia foetida. *Tesis.* Universidad Científica del Sur, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12805/567>
- Marquez, M., & Martínez, S. (2011). Reactores anaerobios de flujo ascendente. Mexico: Centro tecnológico.
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Lima.
- MINAM. (2013). Decreto Supremo N° 075-2013-PCM. Puno.
- MVCT. (2017). Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Bogota.
- Nevado, H. G. (2022). Evaluación y estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí en el departamento de Lambayeque. *Tesis.* Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Lambayeque. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4799>
- Noyola, R. A., Vega, G. E., Ramos, H. J., & Calderon, M. C. (2000). Alternativas de Tratamiento

- de Aguas Residuales. Mexico, Mexico: Subcoordinacion de Editorial y Grafica.
- Núñez, F. M. (2019). Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba–Cajamarca. *Tesis Doctoral*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3526>
- OS 070. (2006). Reglamento nacional de edificaciones.
- OS 090. (2006). Planta de tratamiento de aguas residuales. RNE, 65. Lima, Peru.
- Paredes, J. A. (2022). Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta Cumani–Antauta. *Tesis*. UNiversidad Privada Sa Carlos, Antauta. Obtenido de http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC_S.A.C./155
- Ramalho, R. (1983). Tratamiento de aguas residuales. Mexico: Reverte. S.A.
- Romero. (2005). Lagunas de estabilizacion de aguas residuales. Bogota: Escuela colombiana de ingenieria.
- Tina. (2015). Guias de operación de lagunas de oxidación en plantas de tratamiento de agua residual. LA PAZ: PERIAGUA.
- Tito, J. C. (2021). Análisis de eficiencia del tratamiento físico químico de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del distrito de Chucuito provincia de Puno. *Tesis*. Universidad Privada San Carlos, Chucuito. Obtenido de <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./334>
- Unzueta, J. (2004). Encuentros sobre el agua. UNESCO Etxea–Centro.
- Vivanco, E. (2018). Manual tecnico sobre tecnologias biologicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales y residuos industriales. Lima: CYTED.
- Zela. (2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las empresas prestadoras. Lima: PROAGUA.



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/>