

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

EXISTENTE Y PROPUESTA DE UN REDISEÑO PARA EL DISTRITO DE

MACARI, MELGAR - 2023

PRESENTADA POR:

NELSON RICARDO SALGADO GARCIA

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2024



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



9.7%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 26 JAN 2024, 11:55 AM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.82%

● CHANGED TEXT
7.88%

Report #19451863

NELSONRICARDO SALGADO GARCIA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTE Y PROPUESTA DE UN REDISEÑO PARA EL DISTRITO DE MACARI, MELGAR - 2023 RESUMEN El estudio se realizó en el distrito de Macari, provincia de Melgar. El objetivo fue evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y proponer un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual. Para ello se evaluaron muestras de afluente y efluente, determinando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos según los límites máximos permisibles para aguas residuales, asimismo, se determinó la eficiencia para cada parámetro a partir de la remoción de carga contaminante del efluente en relación con el afluente. Los resultados determinaron los valores en el afluente y efluente de pH 4.91 y 4.90, temperatura 16.16°C y 16.30°C, DBO 516.55 mg/L y 383,45 mg/L, DQO 791.37 mg/L y 958,51 mg/L, coliformes termotolerantes: 120 NMP/100mL y 15 NMP/100 mL, SST 1315 mg/L y 1636,5 mg/L, aceites y grasas de 81.56 mg/L y 88.41 mg/L respectivamente, determinando que los parámetros pH, DBO, DQO, SST, aceites y grasas no cumple con la normativa de los LMP, cumpliendo solamente la temperatura y coliformes termotolerantes, asimismo, la eficiencia de remoción son para DBO de 25.8%, DQO de -21.1%, SST de -24.4%, coliformes termotolerantes de 87.5% y aceites y grasas de -8.4%, valores que señalan que la remoción de

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EXISTENTE Y PROPUESTA DE UN REDISEÑO PARA EL
DISTRITO DE MACARI, MELGAR - 2023**

PRESENTADA POR:

NELSON RICARDO SALGADO GARCIA

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOZQUETA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS

:



M.Sc. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias ambientales

Puno, 06 de febrero del 2024

DEDICATORIA

A Dios, quien ha fungido como mi principal fuente de sabiduría y su influencia divina ha trazado mi camino. Dios es la fuente inagotable de inspiración y fortaleza que ha sido fundamental para la realización de este logro académico.

A Pedro Salgado y Francisca García, mis padres, les debo un profundo reconocimiento por su apoyo constante, amor inquebrantable, sacrificio, orientación y la transmisión de valores fundamentales que han sido el cimiento de mi desarrollo como individuo íntegro y la clave de mi éxito en la culminación de mi carrera profesional.

A mis amigos de la UPSC, que me apoyaron moralmente, con los que pase momentos de alegría, y fueron parte de mi formación personal, a ellos muchas gracias.

Nelson Ricardo Salgado Garcia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada San Carlos por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos, crecer y desarrollarme profesionalmente en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Agradecer a mis jurados de tesis Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta, Dr. Esteban Isidro Leon Apaza y a la Mg. Katia Elizabeth Andrade Linarez, por su compromiso y dedicación en la revisión y evaluación de este trabajo de investigación.

Agradezco a mi asesor de tesis M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda, cuya orientación, experiencia y apoyo incansable han sido cruciales en la culminación de este proyecto.

Nelson Ricardo Salgado Garcia

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLA	6
ÍNDICE DE FIGURA	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	16
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	17
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	20
	3

2.1.1. AGUAS RESIDUALES	20
2.1.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES	21
2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	21
2.1.4. CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES	25
2.1.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	26
2.1.6. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
2.1.7. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	30
2.1.8. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	35
2.1.9. EVALUACIÓN DE LA PTAR	37
2.1.10. EFICIENCIA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	37
2.1.11. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP)	38
2.2. MARCO CONCEPTUAL	39
2.3. MARCO NORMATIVO	40
2.4. HIPÓTESIS	40
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	40
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	40
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	41
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.2.1. POBLACIÓN	41
3.2.2. MUESTRA	42
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	43
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	45
	4

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. RESPECTO AL CUMPLIMIENTO DEL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO	46
4.1.1 PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	46
4.1.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA REMOCIÓN DE PTAR	57
4.2. RESPECTO AL CUMPLIMIENTO DEL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	60
4.3. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	67
4.3.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLA

	Pág.
Tabla 01: Características epidemiológicas de los patógenos excretados	25
Tabla 02. Procesos para la remoción de contaminantes de las aguas residuales	29
Tabla 03. LMP para efluentes de PTAR	39
Tabla 04. Coordenadas georeferenciadas de la PTAR Macari	42
Tabla 05. Ubicación de muestras	43
Tabla 06. Operacionalización de las variables	45
Tabla 07. Evaluación de parámetros físicos para PTAR Macari	47
Tabla 08. Evaluación de parámetros químicos para PTAR Macari	51
Tabla 09. Evaluación de parámetros microbiológicos para PTAR Macari	55
Tabla 10. Eficiencia de PTAR Macari	58
Tabla 11. Datos de diseño de humedal artificial PTAR Macari	63

ÍNDICE DE FIGURA

	Pág.
Figura 01. Ejemplo de tren de tratamiento de aguas residuales	30
Figura 02. Esquema de una PTAR	36
Figura 03. Ubicación de planta de tratamiento de aguas residuales	42
Figura 04. pH del efluente de PTAR Macari	48
Figura 05. Temperatura del efluente de PTAR Macari	49
Figura 06. SST del efluente de PTAR Macari	50
Figura 07. Aceites y grasas del efluente de PTAR Macari	52
Figura 08. DBO del efluente de PTAR Macari	53
Figura 09. DQO del efluente de PTAR Macari	54
Figura 10. Coliformes termotolerantes del efluente de PTAR Macari	56
Figura 11. Distribución de componentes de PTAR Macari	62
Figura 12. Propuesta de humedal artificial para PTAR Macari	64
Figura 13. Rediseño de PTAR Macari	66
Figura 14. Toma de muestra en efluente	81
Figura 15. Toma de muestra en afluente	82
Figura 16. Toma de muestra en la PTAR del distrito de Macari	82
Figura 17. Muestras para el análisis microbiológico	83
Figura 18. Vista de los desarenadores primario y secundario	83
Figura 19. Biofiltros de la PTAR Macari	84
Figura 20. Vista de los sedimentadores	84
Figura 21. Filtros lentos de arena sin funcionamiento	84

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y propuesta de un rediseño para el distrito de Macari, Melgar - 2023	75
Anexo 02: Certificado de análisis de agua residual	77
Anexo 03: Hoja de cálculo de diseño de lagunas artificiales	78
Anexo 04: Registro de cadena de custodia	80
Anexo 05: Panel fotográfico	80

RESUMEN

El estudio se realizó en el distrito de Macari, provincia de Melgar. El objetivo fue evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y proponer un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual. Para ello se evaluaron muestras de afluente y efluente, determinando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos según los límites máximos permisibles para aguas residuales, asimismo, se determinó la eficiencia para cada parámetro a partir de la remoción de carga contaminante del efluente en relación con el afluente. Los resultados determinaron los valores en el afluente y efluente de pH 4.91 y 4.90, temperatura 16.16°C y 16.30°C, DBO 516.55 mg/L y 383,45 mg/L, DQO 791.37 mg/L y 958.51 mg/L, coliformes termotolerantes: 120 NMP/100mL y 15 NMP/100 mL, SST 1315 mg/L y 1636.5 mg/L, aceites y grasas de 81.56 mg/L y 88.41 mg/L respectivamente, determinando que los parámetros pH, DBO, DQO, SST, aceites y grasas no cumple con la normativa de los LMP, cumpliendo solamente la temperatura y coliformes termotolerantes, asimismo, la eficiencia de remoción son para DBO de 25.8%, DQO de -21.1%, SST de -24.4%, coliformes termotolerantes de 87.5% y aceites y grasas de -8.4%, valores que señalan que la remoción de carga contaminante no cumplen con los rangos de eficiencia. Como respuesta a estos hallazgos, se propone el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales ajustándose al actual tren de tratamiento y la disponibilidad de terreno, presentando como alternativa la adición de lagunas artificiales de flujo superficial de macrófitas con 5 celdas, un área de 246.28 m², longitud de 26.20 m, ancho de 9.40 m y una altura de 1.21 m con un tiempo de retención hidráulico de 1.3 días para mejorar la eficiencia de la PTAR Macari.

Palabras clave: afluente, aguas residuales, efluente, eficiencia, tren de tratamiento.

ABSTRACT

The study was carried out in the district of Macari, province of Melgar. The objective was to evaluate the efficiency of the existing wastewater treatment plant and propose a redesign to improve the current treatment. For this, samples of influent and effluent were evaluated, determining the physical, chemical and microbiological parameters according to the maximum permissible limits for wastewater, likewise, the efficiency for each parameter was determined from the removal of contaminant load from the effluent in relation to the tributary. The results determined the values in the influent and effluent of pH 4.91 and 4.90, temperature 16.16°C and 16.30°C, BOD 516.55 mg/L and 383.45 mg/L, COD 791.37 mg/L and 958.51 mg/L, thermotolerant coliforms: 120 NMP/100mL and 15 NMP/100 mL, TSS 1315 mg/L and 1636.5 mg/L, oils and fats of 81.56 mg/L and 88.41 mg/L respectively, determining that the parameters pH, BOD, COD, TSS, oils and greases do not comply with the LMP regulations, complying only with temperature and thermotolerant coliforms, likewise, the removal efficiency is for BOD of 25.8%, COD of -21.1%, TSS of -24.4%, thermotolerant coliforms of 87.5% and oils and greases of -8.4%, values that indicate that the removal of the contaminant load does not meet the efficiency ranges. In response to these findings, the redesign of the wastewater treatment plant is proposed, adjusting to the current treatment train and the availability of land, presenting as an alternative the addition of artificial macrophyte surface flow lagoons with 5 cells, an area of 246.28 m², length of 26.20 m, width of 9.40 m and a height of 1.21 m with a hydraulic retention time of 1.3 days to improve the efficiency of the Macari Wastewater Treatment Plant.

Keywords: influent, wastewater, effluent, efficiency, treatment train

INTRODUCCIÓN

En el marco de la creciente imperatividad de gestionar los recursos hídricos de manera sostenible, esta investigación evalúa la eficacia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Distrito de Macari, Melgar. En aras de analizar y potenciar la capacidad de tratamiento de aguas residuales en esta localidad, se presenta una propuesta de reingeniería que persigue la optimización de la eficiencia operativa y la certificación de conformidad con los estándares medioambientales vigentes. Actualmente la PTAR de Macari cuenta con la tecnología de biofiltro y no está funcionando en toda su capacidad debido a que dentro de su tren de tratamiento los filtros lentos de arena no funcionan y son estos los últimos sistemas de tratamiento de la PTAR, asimismo la PTAR no cuenta con estudios sobre la evaluación específica de esta planta, por lo que es necesario la realización de evaluaciones con el fin de optimizar el tratamiento .

El contenido de la presente investigación es de la siguiente manera: Capítulo I, explora las pautas de los antecedentes, delineando el contexto investigativo a través de una revisión de estudios a nivel internacional, nacional y regional. En simultáneo, se articula la formulación del problema de investigación, dando origen a las interrogantes que estructuran el proyecto y sus objetivos. En el Capítulo II se presenta la fundamentación teórica, conceptual y legal que sustenta este trabajo. Además, se exponen las consideraciones para incorporar el concepto de aguas residuales municipales como la unidad central de investigación, asimismo se presenta la hipótesis de investigación. Por otro lado en el Capítulo III, se detallan los procedimientos y técnicas de adquisición de datos, junto con el análisis de información y la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el área de investigación. La metodología empleada para la toma de muestras sigue las directrices establecidas por la ANA (2010), mientras que la evaluación de los parámetros en el efluente se rige por

el D.S N° 003-2010-MINAM. Se recopiló información de los operadores del Área Técnica de la municipalidad distrital de Macari para la realización de este trabajo, el cual, se espera, sirva de apoyo a aquellos interesados en el tratamiento de aguas residuales. Las muestras de aguas residuales se recolectaron en el afluente y efluente de la PTAR del distrito de Macari. En el Capítulo IV se presenta el análisis de los resultados obtenidos para finalmente entrar en discusión con otros temas de investigación y concluir sobre el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes y la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Asimismo, se realiza una propuesta de rediseño de la PTAR mediante la adición de unas lagunas artificiales con el uso de naves macrófitas de totora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades humanas modifican las características de las aguas, contaminando e invalidando su posterior aplicación para otros usos (Alianza por el agua & Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2008), por lo que a nivel mundial existen diversos métodos para el tratamiento de las aguas residuales y el desarrollo de sistemas tratamiento de aguas residuales se hizo más evidente en el siglo XX (López et al., 2017).

En el Perú principalmente en ciudades grandes se usan los sistemas de lodos activados (Mamani, 2017), sin embargo, en poblaciones pequeñas como en nuestra región Puno se usan sistemas de lagunaje y humedales artificiales de flujo subsuperficial mediante el uso de plantas macrófitas como la totora.

La generación de aguas residuales producto de la actividad humana es uno de los problemas que se presentan en el distrito de Macari, provincia de Melgar, como la mayoría de las ciudades de la región Puno, afectando la salud y la calidad de vida de los pobladores.

Ante esta situación el distrito de Macari cuenta con una PTAR para el tratamiento de aguas residuales, el cual funciona mediante el sistema de nave de macrófitas, sin

embargo, según visitas realizadas no está funcionando adecuadamente, ya sea por falta de gestión, capacitación del personal o simplemente por negligencia de la administración municipal, asimismo, no se cuentan con registros que permitan definir el nivel de eficiencia de tratamiento de aguas residuales. (Paricahua, 2018)

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál será la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y viabilidad de propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo son los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, provincia de Melgar, 2023?
- ¿Será factible una propuesta de un rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar - 2023?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Sharon et al. (2023) en su investigación se destaca que la dependencia primordial de la comunidad de Lawas recae en el suministro de agua tratada proveniente de la PTAR de Trusan para llevar a cabo sus actividades diarias. A pesar de ello, las áreas rurales aún no cuentan con una cobertura completa de la red de suministro de agua tratada debido a su ubicación remota. Se realizó una evaluación mediante el análisis de los datos diarios de calidad del agua correspondientes al periodo de 2021 y al primer trimestre de 2022 (enero a abril). Los datos fueron recopilados a través del sistema SCADA, y la medición de la calidad del agua se llevó a cabo de forma automatizada

por los operadores de la PTAR, registrando los resultados en el Libro de Informe Diario de Calidad del Agua. De acuerdo con el Índice de Calidad del Agua, se procede a analizar el agua cruda y tratada en base a cinco parámetros estándar: pH (6,5 a 9,0), turbidez (5 NTU), color (15 TCU), cloro residual (0,2 – 5 PPM) y alumbre residual (0,2 PPM). Los resultados obtenidos indican que la calidad del suministro de agua en la planta de tratamiento de agua regional de Trusan es satisfactoria, cumpliendo con los valores permitidos según el Índice de Calidad del Agua.

Asimismo, Mercado et al. (2020) en su análisis, se destaca que la administración de las aguas residuales domésticas en pequeñas localidades adolece de deficiencias que comprometen la capacidad de las instalaciones de tratamiento para alcanzar el propósito fundamental de mitigar la contaminación ambiental y prevenir la degradación de los cuerpos receptores. La metodología desplegada durante el periodo 2015-2018 englobó una serie de enfoques, tales como trabajos de campo destinados a la inspección minuciosa de las plantas de tratamiento, así como a la evaluación de sus operaciones y actividades de mantenimiento. Además, se llevaron a cabo campañas de muestreo con el fin de determinar la eficacia en la eliminación de contaminantes, junto con entrevistas a directivos y operadores para recopilar información relativa a la población atendida y al tipo de gestión implementada en las instalaciones de tratamiento. Los resultados obtenidos revelaron una relación directa entre la puntuación de las actividades de operación y mantenimiento, y las eficiencias de tratamiento en términos de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las plantas examinadas.

Por otro lado, Abello et al. (2020), señala que a nivel de Latinoamérica, Chile cuenta con la mayor cobertura de saneamiento de aguas residuales (99.85%), gracias a la utilización de tecnologías convencionales (lodos activos y lagunas aireadas) y no convencionales (biofiltro, vermi-biofiltro, entre otros). Se evaluó la eficiencia en 15

plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales 9 son de tecnología de lagunas aireadas, 4 de lodos activados, 1 de biofiltro y 1 de vermi-biofiltro, esta evaluación se realizó en base a los requisitos de la norma ISO 14045. Concluyendo que la tecnología más eficiente fue el vermifiltro, demostrando que las tecnologías emergentes y no convencionales son más eco-eficientes que las tecnologías convencionales.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Cáceres et al. (2021) en un estudio llevado a cabo en Moquegua, se evaluó la eficacia de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio. Se extrajo una muestra representativa de aguas residuales domésticas (afluente), la cual fue sometida a un análisis exhaustivo de parámetros físicos (temperatura y sólidos totales suspendidos), químicos (pH y demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, DBO5) y microbiológicos (coliformes termotolerantes) con el fin de establecer su estado inicial. Los efluentes resultantes de cada sistema de tratamiento fueron analizados utilizando los mismos parámetros que en el afluente, con dos repeticiones cada uno. La evaluación de las diferencias significativas entre los sistemas se llevó a cabo mediante el análisis de varianza (ANOVA) como prueba estadística, seguido por la prueba de Tukey. Los resultados obtenidos revelaron disparidades notables entre los sistemas de tratamiento propuestos. El sistema conformado por la combinación de *Eisenia foetida* y *Eichornia crassipes* demostró ser el más eficiente, evidenciando un descenso medio de la temperatura de 5 °C, una reducción del 94.48% en sólidos totales suspendidos, una disminución del 98.41% en la DBO5, una eliminación del 100.00% de coliformes termotolerantes, y un pH final estabilizado en 7.51. Estos resultados respaldan la efectividad de la combinación de organismos vivos y tratamientos químicos en la depuración de aguas residuales domésticas en el contexto específico de Moquegua.

Asimismo, Cabrera & Zevallos (2019) planteó determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén conforme a lo estipulado en la Norma Técnica Peruana OS – 090 del RNE y los LMP para aguas residuales. Evaluando los parámetros DBO y DQO en dos análisis tanto en el afluente y el efluente, obteniéndose una eficiencia para la DBO5 de 34.78% y 11.75% en el primer análisis y el segundo análisis respectivamente, por otro lado se obtuvo una eficiencia en la DQO de 23.64% y 26.56% en los respectivos análisis. Concluyendo que las lagunas de estabilización en la ciudad de Jaén son deficientes, ya que no cumplen con los parámetros de calidad establecidos por el DS. N° 004-2017-MINAM.

Del mismo modo, Auccatinco (2021), señala que la PTAR del distrito de Cusipata es ineficiente, debida que la remoción de agentes contaminantes es casi inexistente por el inadecuado tratamiento. Determinando que la eficiencia de la PTAR en cuanto a la remoción de aceites y grasas fue de un 30%, DBO5 de 26.9%, DQO de 23,8%, en cuanto a la remoción de Sólidos Suspendidos Totales se observó una eficiencia de 35.9 %, por otro lado, la remoción de los coliformes termotolerantes se determinó que la PTAR no es eficiente ya en el afluente nos indica que el valor es 35000000 NMP/100 mL y en el efluente es 54000000 NMP/100 mL, esto indica que hubo un incremento muy significativo, por lo que la eficiencia de la PTAR es de -54 %. Concluyendo que el tratamiento es ineficiente.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

Valeriano (2023) en el marco de su investigación, se llevó a cabo un estudio en el distrito de Yunguyo con el propósito general de examinar la eficiencia de la PTAR de dicha localidad. Para ello, se recolectaron muestras tanto del afluente como del efluente y se procedió a evaluar la eficiencia mediante el cálculo de la remoción de cinco parámetros críticos: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda

bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales en suspensión (TSS). Los resultados obtenidos revelaron que la PTAR alcanzó un índice de eficiencia global del 79.66%, considerando el porcentaje total de remoción por parámetro: 86.27% para aceites y grasas, 42.50% para coliformes termotolerantes, 85.63% para DBO5, 85.10% para DQO y 98.80% para TSS. Se concluye que, al comparar estos siete parámetros, seis cumplen con los estándares normativos establecidos. Específicamente, se verificó el cumplimiento de las normas en aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, sólidos totales en suspensión y temperatura. Sin embargo, se identificó que el parámetro de coliformes termotolerantes no alcanzó los niveles establecidos por la normativa vigente.

Asimismo, Arias (2021) en su investigación concluye que la eficiencia de remoción del tratamiento físico-químico del PTAR de Chucuito, es deficiente, con valores que no superan el y que de cada uno de los cuatro parámetros evaluados se tiene que la DBO, DQO y los STS sobrepasan los Límites Máximos Permisibles.

Del mismo modo Andrade (2020) realizó su investigación determinando la eficiencia la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de PTAR del distrito de Macusani, evaluados en el afluente y efluente. Tomandose 2 muestras de 1 lt. para su análisis (SST, DQO, DBO, aceites y grasas y coliformes termotolerante se analizaron en laboratorio y pH y temperatura analizados in situ) determinando que la PTAR cumple con la normativa de los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR y los Estándares de Calidad Ambiental en la categoría IV conservación de medios acuáticos.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y proponer un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, provincia de Melgar y verificar si cumplen con los Límites Máximos Permisibles
- Proponer un rediseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. AGUAS RESIDUALES

Romero (2010) la actividad humana provoca la generación de aguas residuales. El tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales requiere una comprensión de sus características físicas, químicas y biológicas, así como de su importancia y impacto principal en la fuente de agua.

Del mismo modo López et al. (2017) afirma que la producción de desechos producidos por la actividad humana es inevitable. Muchos de estos desechos terminan en las aguas residuales. Hay una serie de factores que afectan la cantidad y la calidad de las aguas residuales. No todas las personas o industrias producen la misma cantidad de desechos. El comportamiento, el estilo de vida y el nivel de vida de los habitantes, así como el marco técnico y jurídico en el que las personas se encuentran, tienen un impacto en la cantidad y tipo de desechos que se producen en los hogares.

Las aguas residuales son el resultado de una mezcla de líquidos y desechos sólidos transportados por el agua. Estos desechos provienen de hogares, oficinas, edificios comerciales e instituciones, así como de desechos de industrias y actividades agrícolas, así como de aguas subterráneas, superficiales o de precipitación, que eventualmente también pueden agregarse al agua residual.

Para proteger el medio ambiente y la salud de la población, las aguas residuales generadas en el área municipal deben tratarse adecuadamente antes de su reuso o disposición final. (SINIA, 2015)

2.1.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Romero (2010) clasifica las aguas residuales según la fuente de origen en:

- Aguas residuales domésticas, donde los líquidos provienen de las viviendas, edificios comerciales e institucionales.
- Aguas residuales municipales, donde los residuos líquidos son transportados por el alcantarillado de una población y tratados en una PTAR municipal.
- Aguas residuales industriales, donde las aguas residuales provienen de las descargas de industrias de manufactura.
- Aguas negras, son las aguas residuales provenientes de inodoros y transportan orines y excrementos humanos.
- Aguas grises, son las aguas residuales de las tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras

2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Alianza por el agua & CENTA (2008) indica que cada agua residual tiene características distintas, aunque se pueden establecer rangos de variación aceptables en los caudales y propiedades fisicoquímicas de los vertidos en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado utilizado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría.

Martin et al. (2006) señalan que las aguas residuales urbanas se distinguen por su composición física, química y biológica, y se evidencia una conexión entre varios de los parámetros que componen esta composición. Para gestionar correctamente estas aguas, es fundamental tener una comprensión completa de su estructura y características.

2.1.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Delgadillo et al. (2010) afirma que los parámetros físicos dan una idea aproximada de la calidad del agua residual, del proceso que se realiza y de los problemas potenciales de tratamiento en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Entre los parámetros físicos medibles, los principales son:

- La temperatura
- Los olores
- La conductividad eléctrica
- La turbidez.

Por otro lado Noyola et al. (2000) menciona que los sólidos pueden clasificarse según su tamaño y estado en sedimentables, suspendidos, coloidales y disueltos.

2.1.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Con respecto a las características químicas Delgadillo et al. (2010) señala la importancia crítica de estas interacciones, ya que inciden en las dinámicas del suelo, generando modificaciones significativas en los valores de cada parámetro asociado a los componentes hídricos. Este planteamiento implica la necesidad de cautela al gestionar alteraciones en el agua residual, procurando mantener un equilibrio afinado para prevenir que algún componente se erija como un obstáculo para el florecimiento del sistema natural que se pretende implementar.

Del mismo modo, Crites & Tchobanoglous (2000) clasifica las características químicas en características químicas orgánicas e inorgánicas

Las características químicas inorgánicas más importantes son:

- pH
- Alcalinidad
- Acidez
- Nitrógeno (orgánico, amoniacal, de nitritos y de nitratos)

- Fósforo
- Cloruros
- Amonio libre
- Sulfatos
- Metales

Las características químicas orgánicas más importantes son:

- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Carbono orgánico total
- Grasas y aceites

Delgadillo et al. (2010) indica que el pH es una propiedad crucial porque afecta a todas las demás.

2.1.3.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Delgadillo et al. (2010) destaca que el medio acuático puede fungir como vector de transmisión de enfermedades entéricas, producto de la interacción con excreciones humanas o animales. Además, subraya que en las instalaciones de tratamiento, la cuantificación de la depuración de los constituyentes microbiológicos de los efluentes se realiza mediante valores logarítmicos de base 10. Este enfoque se fundamenta en la relación entre la mortalidad microbiana y el período de exposición, evidenciando que el 90 % de la reducción se alcanza en dicho intervalo temporal.

Asimismo, Noyola et al. (2000) postula que, siendo el parámetro de calidad más delicado y crucial, es imperativo erradicar todas las fuentes de contaminación microbiológica. Además, señala que la carga microbiológica en el agua residual supera los 10^6 coliformes/ml y que prácticamente todos los desechos orgánicos exhiben elevadas concentraciones de microorganismos. Aun tras someterse a procesos de

tratamiento convencionales, el agua residual, al igual que numerosas fuentes acuáticas naturales, retiene una notable presencia de microorganismos.

Por otro lado, Crites & Tchobanoglous (2000) indica que las propiedades biológicas inherentes a los efluentes líquidos son de vital importancia en la gestión de enfermedades provocadas por agentes patógenos de procedencia humana. Asimismo, resalta la función activa y esencial desempeñada por bacterias y otros microorganismos en los procesos de descomposición y estabilización de material orgánico, ya sea en entornos naturales o en instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Las características biológicas más importante son:

- Bacterias (Coliformes, Estreptococos)
- Virus
- Parásitos (Protozoarios, Huevos de helmintos)

En la tabla 01 se presentan los diferentes microorganismos existentes en las aguas residuales y sus características epidemiológicas más importantes, incluyendo las ambientales.

Tabla 01: Características epidemiológicas de los patógenos excretados

Microorganismos	Tamaño (mm)	Persistencia en el Medio Ambiente /20 - 30 °C)	Resistencia a la desinfección con cloro	Multiplicación fuera del huesped humano
Bacterias	0.001 - 0.005	1 - 3 meses	No	No
Protozoos	0.005 - 0.01	< 30 días	Si	No
Virus	0.00001 - 0.0003	Meses	Si	No
Helmintos	-	-	-	Si

Fuente. Delgadillo et al., (2010)

2.1.4. CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales, derivadas de la descomposición de desechos orgánicos provenientes de seres humanos, animales y otros organismos, comprenden elementos como heces y objetos susceptibles a la descomposición por bacterias aeróbicas, en procesos dependientes de oxígeno. La acumulación excesiva de estos desechos desencadena una proliferación bacteriana que agota el oxígeno disponible, resultando en condiciones inhóspitas para la supervivencia de peces y otros organismos que requieren oxígeno. Sin embargo, la concentración de oxígeno disuelto en el agua o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) emergen como indicadores eficaces para cuantificar la contaminación asociada a desechos orgánicos.

Noyola et al. (2000) indica que, debido a los factores de autopurificación y dilución presentes, cualquier cuerpo de agua es capaz de tolerar una cierta cantidad de contaminación sin sufrir consecuencias significativas. Si hay más contaminación, la naturaleza del agua receptora se altera y deja de ser adecuada para varios usos. Por

lo tanto, es crucial comprender los efectos de la contaminación y las medidas de control disponibles para administrar los recursos hidráulicos de manera efectiva.

2.1.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según Noyola et al. (2013) El propósito principal del tratamiento del agua residual es extraer el material contaminante, ya sea orgánico o inorgánico, en forma de partículas en suspensión o disueltas, para producir un efluente que pueda ser descargado sin dañar el medio ambiente o el tipo de reutilización al que se destinará.

Romero (2010) indica que la elección de un proceso de tratamiento de aguas residuales o la combinación adecuada de estos depende principalmente de:

- Las características de las aguas residuales
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad de terreno
- Los gastos asociados con la construcción y el funcionamiento del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema de tratamiento
- la facilidad de optimizar el proceso para satisfacer los requisitos más exigentes en el futuro.

Del mismo modo, para la implementación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (sin considerar su tamaño), Crites & Tchobanoglous (2000) menciona que es de especial importancia considerar:

- Conocer los constituyentes encontrados en las aguas residuales
- Conocer el destino de tales constituyentes una vez son liberados al medio ambiente

2.1.6. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES

Noyola et al. (2000) señala que los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. Asimismo, Crites & Tchobanoglous (2000) menciona que en los sistemas de tratamiento se realizan combinaciones de operaciones y procesos unitarios físicos, químicos y biológicos

Asimismo, Noyola et al. (2013) indica que un tren de tratamiento se crea cuando se combinan estas operaciones y procesos individuales en los sistemas de depuración de aguas residuales (ver figura 1). Por otro lado, dice que las características del agua residual a tratar y la calidad deseada del agua tratada determinarán los métodos de tratamiento. Dependiendo de ello, se pueden producir emisiones gaseosas a la atmósfera y material de desecho, que puede ser un residuo sólido (como el material retenido en las rejillas o tamices) o semisólido (como los lodos).

2.1.6.1. MÉTODOS FÍSICOS

Conocidos también como operaciones físicas unitarias, según Crites & Tchobanoglous (2000) los describe como métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas.

Noyola et al. (2000) menciona los siguientes ejemplos de operaciones físicas unitarias: cribado o tamizado, adsorción, floculación, sedimentación, flotación, filtración, mezcla y transferencia de gases.

2.1.6.2. MÉTODOS QUÍMICOS

Conocidos también como procesos químicos unitarios, según Crites & Tchobanoglous (2000) son los métodos de tratamiento en los cuales la remoción o transformación de

contaminantes se produce por adición de insumos químicos o por reacciones químicas.

Noyola et al. (2000) menciona los siguientes ejemplos: precipitación química, ajuste de pH, coagulación y desinfección.

2.1.6.3. MÉTODOS BIOLÓGICOS

Conocidos también como procesos biológicos unitarios, según Crites & Tchobanoglous (2000) son los métodos de tratamiento en donde la remoción de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica.

Noyola et al. (2000) menciona los siguientes ejemplos de procesos biológicos unitarios: la remoción de compuestos orgánicos biodegradables de las aguas residuales (lodos activados). Asimismo Crites & Tchobanoglous (2000) señala que los tratamientos biológicos también se emplean para remover nutrientes (nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales.

Los procesos más comúnmente empleados para la remoción de los principales contaminantes de las aguas residuales se detallan en la tabla 02

Tabla 02. Procesos para la remoción de contaminantes de las aguas residuales

Contaminantes	Sistema de tratamiento	Clasificación
Sólidos suspendidos	Cribado y desmenuzado	F
	Sedimentación	F
	Flotación	F
	Filtración	F
	Coagulación/sedimentación	Q/F
Orgánicos biodegradables	Lodos activados	B
	Filtro percolador	B
	Discos biológicos rotatorios	B
	Lagunas aireadas	B
	Lagunas de oxidación	F/B
	Filtración de arena	B/F/Q
Patógenos	Cloración	Q
	Ozonización	Q
Nitrógeno	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
	Arrastre con amoníaco	Q/F
	Intercambio iónico	Q
	Cloración	Q
Fósforo	Coagulación/sedimentación con sales metálicas	Q/F
	Coagulación/sedimentación con cal	Q/F
	Remoción bioquímica	B/Q
Orgánicos refractarios	Adsorción con carbon activado	F
	Ozonización	Q
Metales pesados	Precipitación química	Q
	Intercambio iónico	Q
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico	Q
	Ósmosis inversa	F
	Electrodiálisis	Q

Fuente. Noyola et al. (2000), siendo: Q=químicos, F=físicos y B=biológicos



Figura 01. Ejemplo de tren de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Noyola et al. (2013)

2.1.7. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Romero (2010) señala que teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de agua es necesario identificarlo según:

- Pretratamientos
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Por otro lado, Noyola et al. (2013) señalan que las tecnologías elegidas para integrar el sistema de tratamiento determinarán los requerimientos de insumos como energía eléctrica y reactivos químicos. Por lo tanto, el costo de operación también dependerá de estas tecnologías.

2.1.7.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Romero (2005) señala que el tratamiento preliminar tiene como objetivo principal remover del agua aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores, o que en algunos casos son incompatibles de ser tratados conjuntamente con los demás componentes del agua residual.

Los objetivos del tratamiento preliminar o pretratamiento son:

- Prever posibles obstrucciones y perjuicios en las siguientes etapas de proceso de tratamiento
- Remover materiales que pueden interferir con los equipos y procesos de tratamiento aguas abajo
- Reducir la acumulación de materiales en los procesos ubicados aguas abajo del tratamiento preliminar.

Asimismo el SINIA (2015) señala que los tratamientos preliminares no se consideran como unidades de tratamiento propiamente dicho porque las operaciones que se realizan en dichas unidades reducen escasamente la materia orgánica soluble, retirando básicamente el material fácilmente removible.

La (Alianza por el agua & Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2008) consideran dentro del pretratamiento las siguientes operaciones:

- Cámara de rejas o cribas (Desbaste)
- Desarenadores
- Desengrasadores o flotadores

Asimismo el (SINIA, 2015) hace especial mención en que toda planta de Tratamiento debe contar con un sistema de medición de caudal, ya sea de canaleta parshall o vertedero de control.

2.1.7.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

El (SINIA, 2015) señala que el tratamiento primario corresponde a aquella unidad previamente empleada antes de un sistema de tratamiento biológico (prioritariamente de tipo aerobio) o secundario, con la finalidad de reducir la carga. Por ello, las operaciones unitarias que se han desarrollado en las unidades de tratamiento primario remueven los sólidos suspendidos, rápidamente sedimentables, sin alcanzar a remover sustancialmente el material coloidal ni las sustancias disueltas existentes en el agua residual.

Asimismo, (Alianza por el agua & Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2008) menciona que el principal objetivo de los tratamientos primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.

Por otro lado (Noyola et al., 2013) hace especial mención que en este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Asimismo, (Noyola et al., 2013) y (Romero, 2005) señalan que el tratamiento primario remueve alrededor

del 60% en sólidos suspendidos y de 30%-35% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

Los tratamientos primarios más habituales son:

- Tanque de sedimentación primaria
- Sedimentador primario

También son considerados tratamientos primarios:

- Tanques sépticos con zanjas de infiltración
- Zanjas de infiltración

2.1.7.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

(Noyola et al., 2013) señala que en esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

Asimismo (Alianza por el agua & Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2008) menciona que el tratamiento biológico se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales

En el caso del agua residual doméstica o municipal, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos:

- Procesos biológicos anaerobios
- Procesos biológicos aerobios

(Noyola et al., 2013) considera dentro del tratamiento secundario las siguientes operaciones:

1) Procesos biológicos anaerobios

- Fosa séptica
- Tanque Imhoff
- Reactor de lecho de lodos (UASB)
- Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)

2) Procesos biológicos aerobios

- Lodos activados por aireación
- Filtro percolador
- Filtro percolador con filtro de macrofitas
- Discos biológicos sumergidos

3) Sistemas naturales construidos

- Humedales artificiales
- Lagunas de estabilización
- Lagunas aireadas

2.1.7.4. TRATAMIENTO Terciario

(Noyola et al., 2013) señala que este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable.

Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico.

Asimismo (Alianza por el agua & Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2008) permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados.

Los tratamientos terciarios más habituales son:

- Floculación
- Filtración
- Eliminación de Nitrógeno (N) y Fósforo (P)
- Desinfección

2.1.8. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Al final del sistema de alcantarillado sanitario, es importante implementar una planta de tratamiento. Hay muchas alternativas para tratar las aguas residuales de una ciudad, ya sea mediante procesos biológicos o físico-químicos. Sin embargo, actualmente casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos.

Según SUNASS (2015) indica que las PTAR se diseñan en función de la disposición final del efluente. Para cumplir con los LMP para el vertimiento en un cuerpo natural, se consideran los siguientes elementos principales:

- Eliminación de contaminantes orgánicos (DBO5 y DQO)
- Eliminación de coliformes termotolerantes.
- Si se cumplen estos parámetros, se puede esperar que los otros LMP también cumplan.

Romero (2010) señala que la solución de un problema de tratamiento de aguas residuales incluye generalmente cinco etapas principales:

- Caracterización del agua residual cruda y definición de las normas de vertimiento
- Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuesto, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y la comparación de los costos de las alternativas propuestas.
- Diseño exhaustivo de la opción de costo mínimo
- Construcción
- Operación y mantenimiento del sistema construido

En la figura 02 se presenta un esquema de las etapas de tratamiento que normalmente tiene una PTAR de aguas residuales domésticas. Cada etapa puede incluir una variedad de diferentes tecnologías, de acuerdo con la calidad del efluente requerido.

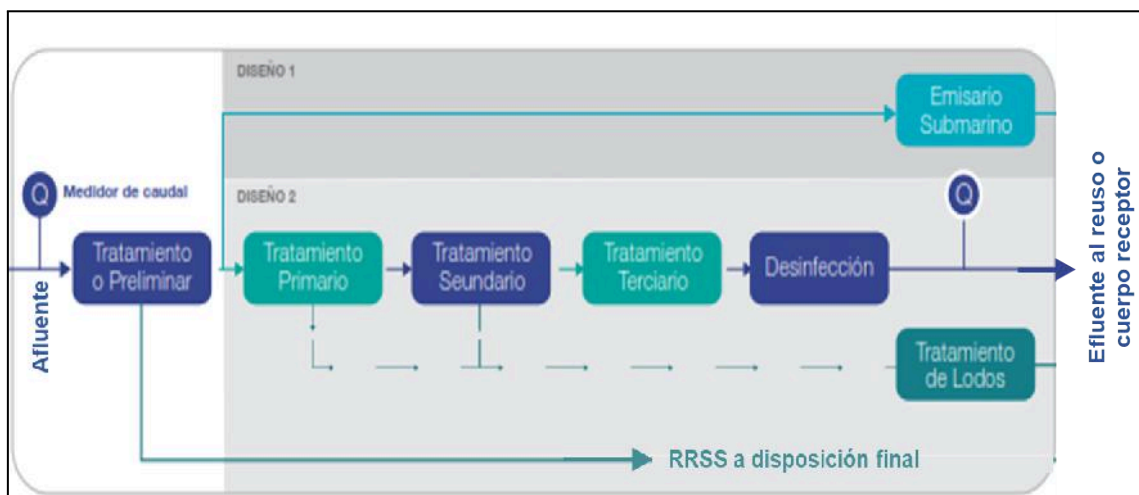


Figura 02. Esquema de una PTAR

Fuente: SUNASS (2015)

2.1.9. EVALUACIÓN DE LA PTAR

Evaluar consiste en realizar un número de mediciones y análisis que al compararlos con los parámetros, normas y métodos preestablecidos que permiten un control y manejo adecuado del proceso o sistema de tratamiento.

Evaluar incluye acciones de supervisión, inspección, vigilancia y control con el propósito de prevenir, mantener, corregir, mejorar y optimizar los procesos individuales y todo el sistema.

El control de los vertimientos autorizados de una PTAR está a cargo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que es la responsable de la caracterización del cuerpo receptor, información necesaria para evaluar si la tecnología de la PTAR permite el cumplimiento de los ECA-Agua. Esta situación obliga a que las EPS incurran en mayores costos para el monitoreo de los cuerpos de agua a fin de comparar las alternativas de vertimiento a diversos cuerpos de agua y la selección de tecnología para una nueva PTAR. Actualmente, los valores de los ECA Agua se encuentran en proceso de revisión o modificación por el Ministerio del Ambiente (MINAM). (SUNASS, 2015)

2.1.10. EFICIENCIA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El grado de eliminación de contaminantes de un PTAR se puede calcular como la disminución porcentual de los parámetros de control establecidos en la normativa actual. Para determinar la cantidad removida de los parámetros de control específicos se considera la relación entre la carga que entra a la planta, o a una unidad de ella, y la correspondiente carga en el flujo de salida. (De la Vega, 2012)

De la Vega (2012) para el cálculo del porcentaje de la remoción de contaminantes, utiliza la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Donde:

- E = Eficiencia de remoción del sistema
- S = Carga contaminante del efluente
- S_0 = Carga contaminante del afluente

Romero (2010) señala que la capacidad y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales las determina el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.1.11. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP)

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, que caracterizan a un EFLUENTE o una EMISIÓN, cuyo exceso sería perjudicial para la salud y el bienestar humano o puede estar dañado. cual ambiente.

Existen 2 líneas de LMPs bien definidas las cuales son LMP-SUELO y LMP-AGUA, aunque este último se subdivide de acuerdo a la competencia del sector y/o uso de la siguiente forma:

- LMP para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel
- LMP de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos
- LMP para la industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias
- LMP para los efluentes de plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales
- LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas

Para la presente investigación la caracterización se realizará según los parámetros para los efluentes de PTAR, aprobados por el D.S. N° 003-2010-MINAM y que describe 7 parámetros que se tiene que cumplir al descargar el efluente de la planta de tratamiento se aguas residuales, como se indica en la tabla 03.

Tabla 03. LMP para efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluente vertido a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
DQO	mg/L	100
DBO	mg/L	200
pH	Und de pH	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente. D.S. N° 003-2010-MINAM

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Aguas residuales. Las descargas de usos poblacionales, industriales, agrícolas, pecuarios y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de estos usos, dan como resultado aguas con una variedad de composiciones.

Planta de tratamiento de aguas residuales. La Estación Depuradora de Aguas Residuales, también conocida como PTAR, recoge agua del uso de la población o el sector industrial para eliminar sustancias contaminantes.

Calidad del Agua. Determinación de la calidad del agua proporcionada por el proveedor en términos de características físicas, químicas, microbiológicas y parasitológicas necesarias para su uso humano.

Contaminación del agua. El cambio físico o químico de cualquier tipo en el agua de superficie o subterránea, que pueda ser dañino para los organismos vivos o hacer que no sea adecuado para ciertos usos.

Límite máximo permisible. Estos son los valores máximos permitidos para los parámetros que describen la calidad del agua.

2.3. MARCO NORMATIVO

D.S. N° 003-2010-MINAM

Es la norma que aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales.

RNE OS.090 PTAR

La OS. 090 del reglamento nacional de edificaciones, tiene como objetivo principal normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La planta de tratamiento de aguas residuales es ineficiente por lo que es viable la propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, Melgar superan los límites máximos permisibles para aguas residuales.
- La propuesta de un rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar - 2023, es factible debido a su mal estado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El presente proyecto de investigación se realizó en el distrito de Macari, provincia de Melgar, región de Puno.

Enmarcado en las coordenadas UTM: zona 18 Norte, 296330 Este, 8366521.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El presente proyecto de investigación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad del distrito de Macari el cual funciona mediante el método de filtros percoladores.



Figura 03. Ubicación de planta de tratamiento de aguas residuales

En la tabla 04, se presentan las coordenadas georeferenciadas de la ubicación de la PTAR de Macari.

Tabla 04. Coordenadas georeferenciadas de la PTAR Macari

Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
P1	296214.00 m	8366498.00 m
P2	296324.00 m	8366521.00 m
P3	296330.00 m	8366495.00 m
P4	296270.00 m	8366476.00 m
P5	296270.00 m	8366464.00 m
P6	296224.00 m	8366456.00 m

Fuente: Google Earth

3.2.2. MUESTRA

La elección de muestra fue no probabilística intencionada debido a que será elegida según el criterio del investigador, en este caso a fin de obtener la eficiencia de la

PTAR. Por lo tanto, para la muestra se utilizarán dos muestras, una muestra de agua en el afluente y otra muestra en efluente, como se evalúa en la tabla 05.

Tabla 05. Ubicación de muestras

Lugar	Código	Coordenada UTM		Ubicación
		Este	Norte	
Entrada de PTAR	M-01	296245	8366484	Afluente
Salida de PTAR	M-02	296271	8366496	Efluente

Las muestras se llevaron al laboratorio de la UNAP, facultad de Ingeniería Química para analizar los parámetros de aguas residuales según establecido en los Límites Máximos Permisibles, llenando los datos de registro de cadena de custodia (**Anexo 4**) y los resultados obtenidos se muestran en el **Anexo 2**, para ser desarrollados en el capítulo IV.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

TIPO DE INVESTIGACIÓN. La presente investigación es aplicada ya que los descubrimientos y aportaciones de la investigación básica, como son las plantas de tratamiento mediante filtros percoladores fueron utilizados para el tratamiento de aguas residuales provenientes del distrito de Macari.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. El diseño de la investigación es no experimental, porque las variables se estudiarán tal como son observados en su contexto natural (sin manipulación) para luego analizarlos

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN. La investigación es descriptiva porque se describe el problema de acuerdo al planeamiento y se utiliza el recojo y análisis de datos e información de las unidades de muestreo.

MATERIALES Y/O RECURSOS

a. Materiales de campo y laboratorio.

- Fichas de registro (Cadena de custodia).
- Frascos de polietileno o vidrio para la toma de muestra.
- Lapicero.
- Libreta de apuntes.
- Mandil.
- Zapato de seguridad
- Guantes de nitrilo
- Mascarilla
- Casco de seguridad

b. Equipos

- GPS.
- Cámara fotográfica.

Asimismo los siguientes softwares para el procesamiento de la información:

- Ms Excel
- Ms Word
- AutoCAD

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 06. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UND
Variable Independiente			
Planta de tratamiento de aguas residuales	Tipo del sistema de tratamiento de PTAR	Ubicación	lugar
		Caudal	Lts/s
		Componentes	und
		Dimensiones	m
Variable Dependiente			
Calidad de aguas residuales	Parámetros Físicos	pH	und pH
		Temperatura	°C
		Sólidos totales en suspensión	mg/L
	Parámetros Químicos	Aceites y grasas	mg/L
		DBO	mg/L
		DQO	mg/L
Parámetros Microbiológicos	Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. RESPECTO AL CUMPLIMIENTO DEL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

Respecto al cumplimiento del primer objetivo se consideró la comparación de los parámetros del agua residual con los límites máximos permisibles y posterior determinación de la eficiencia, con el fin de un mayor entendimiento de la remoción de contaminantes por parte de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari.

4.1.1 PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

4.1.1.1. PARÁMETROS FÍSICO

En la Tabla 07, se presenta el resumen de los valores obtenidos de los parámetros físicos muestreados en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macari como se puede evidencia en el Anexo 2 para posteriormente ser analizados respecto a los Límites Máximos Permisibles (LMP) de aguas residuales residuales normado por el decreto supremo N° 003-2010-MINAM descritos en la tabla 03, descrito en el capítulo II.

Tabla 07. Evaluación de parámetros físicos para PTAR Macari

Parámetros físicos	Unidad	Resultados de Análisis PTAR		LMP	Cumplimiento
		Afluente	Efluente		
pH	Und de pH	4.91	4.90	6.5 - 8.5	No Cumple
Temperatura	°C	16.16	16.30	35	Si Cumple
Sólidos totales en suspensión	mg/L	1315.00	1636.50	150	No Cumple

La Tabla 07 proporciona una representación evidente de la diferenciación entre los resultados obtenidos de las muestras de agua residual antes y después del tratamiento, la cual resulta mínima. Donde el parámetro que cumple con los LMP es la temperatura, por otro lado el pH y los sólidos totales en suspensión (SST) no cumplen los valores mínimos. Por lo que se analiza cada uno de estos parámetros, para un mejor entendimiento de los mismos.

a) Potencial de hidrógeno (pH)

Los resultados muestran que los pH obtenidos en afluente fueron de 4.91 y en el efluente fue de 4.90, que determinan una calidad de agua ácida en relación al pH, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR establece el rango permitido para descarga de agua residual de 6.5 a 8.5 como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari no cumple con el Límite Máximo Permissible de pH.

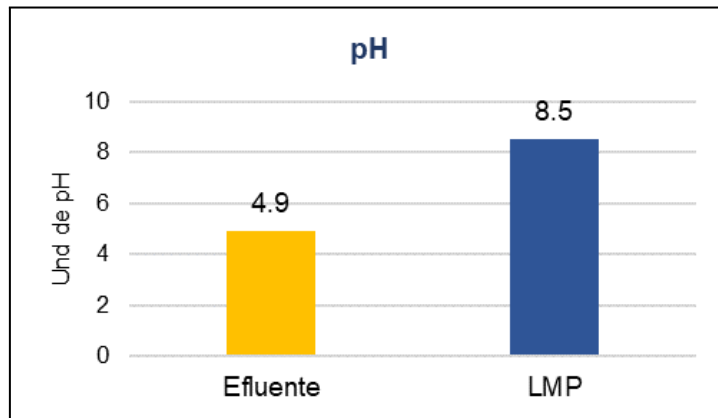


Figura 04. pH del efluente de PTAR Macari

En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de pH en el afluente y efluente de 7.27 y 7.56, valores que discrepan con los valores determinados en la PTAR Macari, por otro lado, Arias (2021) determinó valores de 7.38 y 6.79 para el afluente y efluente respectivamente, valores que están dentro de lo establecido por el LMP, sin embargo que difieren a los valores determinados en la presente investigación. Para ambos casos la zona de estudio fue un distrito de similares características a la muestra seleccionada, por lo que indicaría que la PTAR del distrito de Macari. Por otro lado, Valeriano (2023) determinó valores de pH en el afluente de 6.86 y en el efluente de 7.10 que indica un aumento en el nivel de concentración, sin embargo, se encuentra dentro del rango de los LMP para el pH.

b) Temperatura

Para la temperatura los resultados obtenidos fueron de 16.16 °C en el afluente y 16.30 °C en el efluente, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR se establece que la temperatura de agua residual debe ser menor a 35 °C como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari cumple con el Límite Máximo Permissible de temperatura.

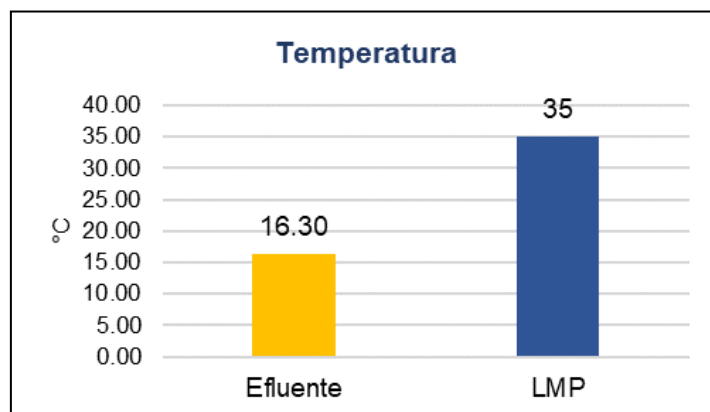


Figura 05. Temperatura del efluente de PTAR Macari

En referencia a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de Temperatura en el afluente y efluente de 20.3 °C y 20.1 °C, valores que están dentro de lo establecido por el LMP, sin embargo estos difieren debido a que son mayores a los hallados en la presente investigación, asimismo, Valeriano (2023) determinó valores de temperatura de 15.6 y 16.4 °C tanto en el afluente y efluente respectivamente, este valor es muy similar a lo establecido en la presente investigación.

c) **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los resultados para los SST obtenidos en afluente fueron de 1315 mg/L y efluente fue de 1636.5 mg/L, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR se establece que los SST de agua residual es de 150 mg/L como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari no cumple con el Límite Máximo Permisible de SST.

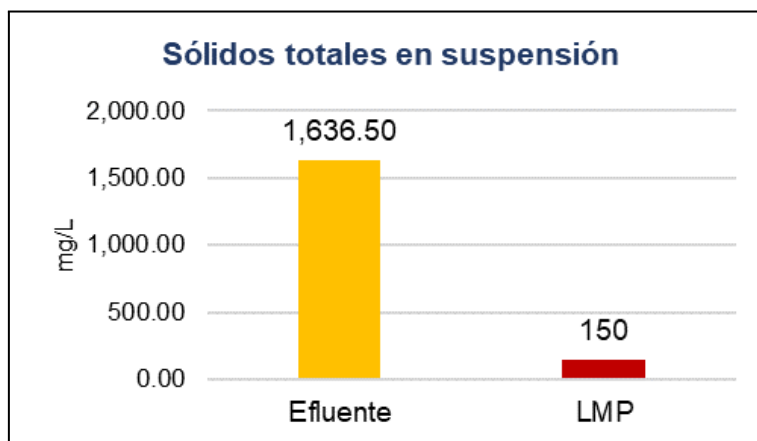


Figura 06. SST del efluente de PTAR Macari

En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de SST en el afluente y efluente de 44 y 33 mg/L, por otro lado, Arias (2021) determinó valores de 127 y 152 mg/L para el afluente y efluente respectivamente, asimismo, Valeriano (2023) determinó valores de SST de 467 y 5.59 mg/L para el afluente y efluente respectivamente, para estos caso los valores que están dentro de lo establecido por el LMP y muy por debajo de los valores obtenidos en la presente investigación, por lo que difieren ampliamente a los valores hallados en la PTAR Macari, lo que indicaría que la PTAR Macari supera ampliamente el valor del LMP, esto puede atribuirse a múltiples causas, entre ellas la falta de mantenimiento y la mala operación de la planta.

4.1.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

En la Tabla 08, se presenta los valores obtenidos de los parámetros químicos muestreados en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macari como se puede evidencia en el Anexo 2 y analizados respecto a los LMP de aguas residuales normado por el decreto supremo N° 003-2010-MINAM.

Tabla 08. Evaluación de parámetros químicos para PTAR Macari

Parámetros químicos	Unidad	Resultados de Análisis PTAR		LMP	Cumplimiento
		Afluente	Efluente		
Aceites y grasas	mg/L	81.56	88.41	20	No Cumple
DBO	mg/L	516.55	383.45	100	No Cumple
DQO	mg/L	791.37	958.51	200	No Cumple

Los resultados de la tabla 08 evidencian que todos los parámetros no cumplen con los Límites Máximos Permisibles en relación a los parámetros químicos. Los datos revelan una disminución en relación a la DBO, sin embargo se evidencia un aumento de los contaminantes en los aceites y grasas y la DQO.

d) Aceites y grasas

Para los aceites y grasas, los resultados obtenidos en afluente fueron de 81.56 mg/L y efluente fue de 88.41 mg/L, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR se establece que los aceites y grasas de agua residual es de 20 mg/L como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari no cumple con el Límite Máximo Permissible de aceites y grasas.

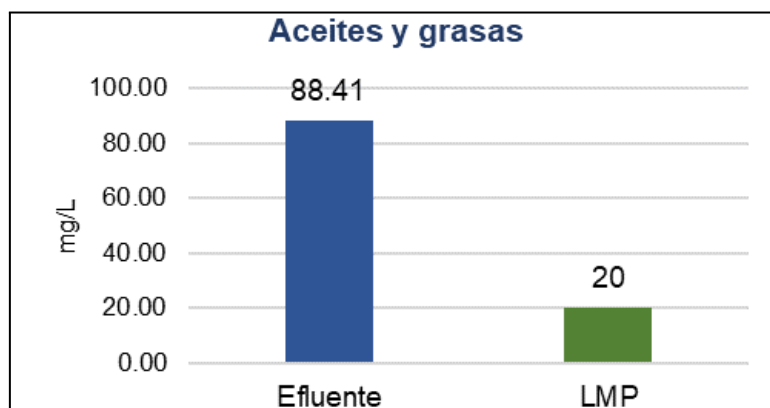


Figura 07. Aceites y grasas del efluente de PTAR Macari

En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de aceites y grasas en el afluente y efluente de 1.8 y 0.32 mg/L, por otro lado Auccatinco (2021) determinó niveles de concentración de 14 y 9.8 mg/L, asimismo, Valeriano (2023) determinó valores de aceites y grasas de 30.6 y 4.2 mg/L respectivamente, valores evidencian un reducción en los niveles de concentración y cumple lo establecido por el LMP. Para estos casos los resultados difieren con las muestras de la PTAR de Macari debido a que ésta posee 88.41 mg/L en el efluente.

e) **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Para el DBO, los resultados obtenidos en afluente fueron de 516.55 mg/L y efluente fue de 383.45 mg/L, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR se establece que el DBO de agua residual es de 100 mg/L como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari no cumple con el Límite Máximo Permissible de DBO y por ende se tendría que mejorar el tratamiento de aguas residuales, debido a que el DBO es el parámetro que mejor indica la contaminación de aguas residuales.

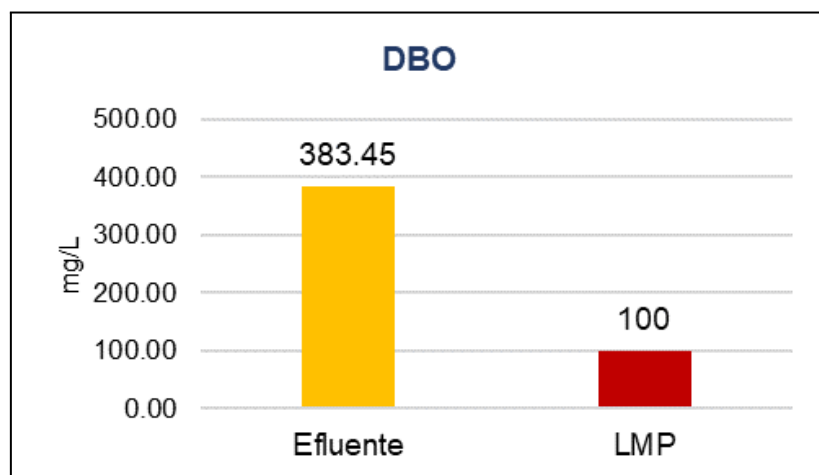


Figura 08. DBO del efluente de PTAR Macari

En referencia a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de DBO en el afluente y efluente de 100 y 37.6 mg/L que cumple los LMP, por otro lado Auccatinco (2021) determinó niveles de concentración de 182 y 133 mg/L, asimismo, Valeriano (2023) determinó valores de DBO de 228 y 41.4 mg/L para el afluente y efluente respectivamente, estos valores evidencian una reducción en los niveles de concentración sin embargo no cumple lo establecido por el LMP, para ambos casos los valores difieren en relación a los resultados de la presente investigación.

f) Demanda química de oxígeno (DQO)

Los resultados para el DQO obtenidos en afluente fueron de 791.37 mg/L y efluente fue de 958.51 mg/L, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efluente de PTAR se establece que el DQO de agua residual es de 200 mg/L como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari no cumple con el Límite Máximo Permisible de DQO.

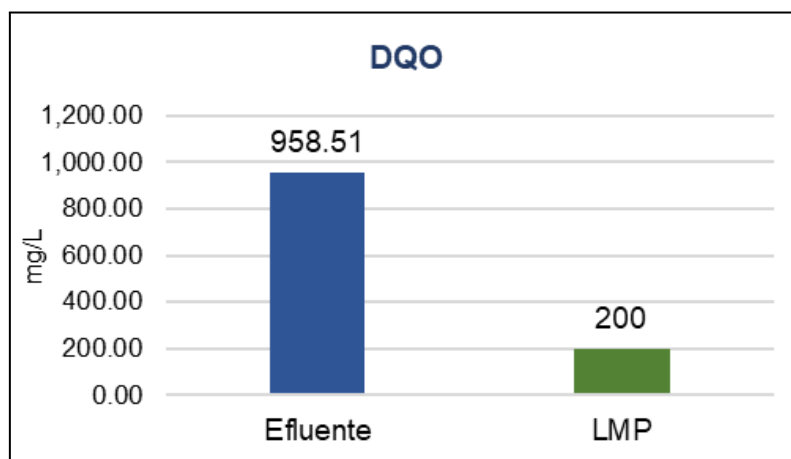


Figura 09. DQO del efluente de PTAR Macari

En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de DQO en el afluente y efluente de 4090 y 209 mg/L que evidencian una reducción significativa, sin embargo no cumple los LMP, asimismo, Valeriano (2023) determinó valores de DQO de 623 y 92.8 mg/L para el afluente y efluente respectivamente estos los resultados difieren a los hallados en la presente investigación, por otro lado, Arias (2021) establece concentraciones de 1400 y 1650 mg/L, revelando un incremento en los niveles de concentración que contravienen las pautas establecidas por el Límite Máximo Permisible (LMP). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de la presente investigación, que indican un aumento en la concentración del efluente con respecto al afluente. No obstante, es importante destacar que los valores registrados por Arias (2021) superan significativamente los obtenidos en el contexto de este estudio.

4.1.1.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

En la Tabla 09, se presenta el resumen de los valores obtenidos de los parámetros microbiológicos muestreados en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macari como se evidencia en el Anexo 2 y analizados respecto a

los Límites Máximos Permisibles (LMP) de aguas residuales normado por el decreto supremo N° 003-2010-MINAM descritos en la tabla 03.

Tabla 09. Evaluación de parámetros microbiológicos para PTAR Macari

Parámetros microbiológicos	Unidad	Resultados de Análisis PTAR		LMP	Cumplimiento
		Afluente	Efluente		
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	120	15	10000	Si Cumple
Coliformes fecales	NMP/100 mL	< 5	< 5	No tiene	-----

La Tabla 09 proporciona una representación evidente de la diferenciación entre los resultados de los coliformes termotolerantes obtenidos de las muestras de agua residual antes y después del tratamiento. Asimismo, se puede evidenciar que en la PTAR del distrito de Macari existe una baja carga de bacterias coliformes termotolerantes.

g) Coliformes termotolerantes

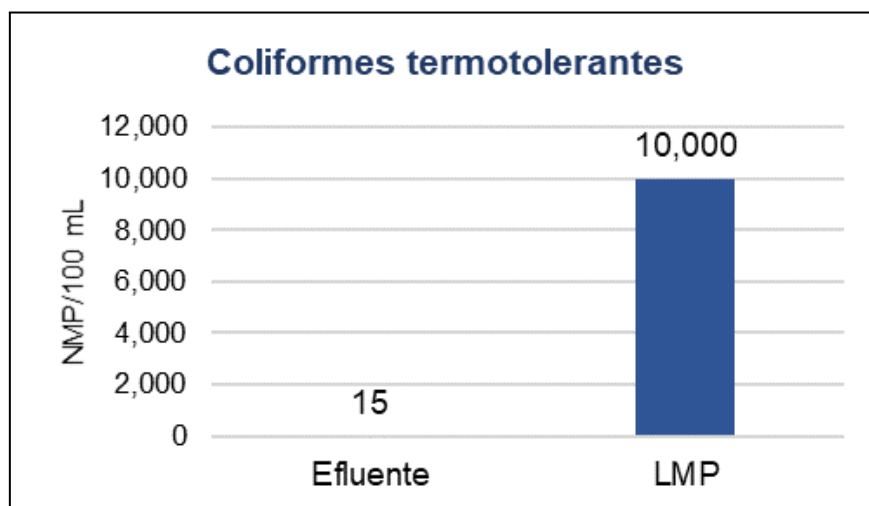


Figura 10. Coliformes termotolerantes del efuyente de PTAR Macari

Los resultados para el coliformes termotolerantes obtenidos en afluente fueron de 120 NMP/100 mL y efuyente fue de 15 NMP/100 mL, que de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) aprobado por decreto supremo N° 003-2010-MINAM, para efuyente de PTAR se establece que el DQO de agua residual es de 10000 NMP/100 mL como rango aceptable de descarga. Determinando que la PTAR del distrito de Macari cumple con el Límite Máximo Permissible de coliformes termotolerantes. En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de coliformes termotolerantes en el afluente y efuyente de 1.08×10^7 y 11000 NMP/100 determinando así que no cumple los LMP, por otro lado, Auccatinco (2021) determinó niveles de concentración de 3.5×10^7 y 5.4×10^7 NMP/100, estos valores evidencian un aumento en los niveles de concentración y por ende no cumple lo establecido por el LMP. Para ambos casos, los resultados difieren enormemente a los resultados obtenidos en la presente investigación, demostrando la baja carga de bacterias que presenta la PTAR Macari.

4.1.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA REMOCIÓN DE PTAR

Para el cálculo de la eficiencia de remoción de los parámetros planteados por los LMP para aguas residuales, no se consideran los valores del PH y la temperatura, debido a que estos valores se ajustan en el proceso de tratamiento .

Reemplazamos los valores de la concentración en el afluente y efluente, para la obtención de la eficiencia de remoción, en la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de DBO} = (516.55 - 383.45) / 516.55$$

$$\text{Eficiencia de DBO} = 25.8 \%$$

De esta forma, se determinó la eficiencia de remoción para cada parámetro evaluado, como se muestra en la tabla 10. Los rangos de remoción esperada se ajustan a lo mostrado por Andrade (2020) y la Norma Técnica Peruana OS-090, los cuales establecen valores de eficiencia según el tipo de tratamiento usado por la planta de tratamiento de aguas residuales, que para el caso de la presente investigación, la PTAR cuenta con un sistema de filtros lentos.

Tabla 10. Eficiencia de PTAR Macari

Parámetro	Unidad	Resultados de Análisis PTAR		Eficiencia PTAR	Rangos de remoción esperada	Cumplimiento
		Afluente	Efluente			
Aceites y grasas	mg/L	81.56	88.41	-8.4%	90%	No Cumple
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	120	15	87.5%	90-95%	No Cumple
DBO	mg/L	516.55	383.45	25.8%	50-90%	No Cumple
DQO	mg/L	791.37	958.51	-21.1%	70-80%	No Cumple
Sólidos totales en suspensión	mg/L	1315.00	1636.50	-21.4%	90%	No Cumple

De acuerdo con los resultados de remoción obtenidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el distrito de Macari, la eficiencia de remoción de la carga contaminante en términos de DBO alcanzó solo un valor de 25.8%. Este valor, situado por debajo del rango del 50% al 90% establecido por la norma NTP OS-090, por lo que no estaría en concordancia con las expectativas de remoción. Por otro lado, la eficiencia de remoción de la DQO es de -21.1%, posicionándose fuera del rango esperado del 70% al 80%, al ser un resultado negativo se señala que la cantidad del parámetro DQO se elevó en relación del efluente con el afluente. Asimismo, la eficiencia para los sólidos suspendidos totales (SST) y los coliformes termotolerantes fue de -24.4% y 87.5%, respectivamente, valores que se encuentran por debajo del rango de eficiencia esperada, establecida en más del 90%. Por ende, la PTAR del distrito de Macari no cumple con la eficiencia de remoción de carga orgánica para estos parámetros específicos. Estos resultados, manifiestan de manera concluyente la mala eficacia operativa de la PTAR de Macari.

En relación a los resultados Andrade (2020) en su investigación obtuvo valores de eficiencia de 93.42% para DBO, 94.88% para DQO que si cumplen con los rangos de eficiencia esperados, por otro lado obtuvo valores de eficiencia de 67.16% para SST y 77.55% para valores de coliformes termotolerantes, que para ambos casos no cumplen la eficiencia de remoción final esperada. Por otro lado, Auccatinco (2021) determinó valores de eficiencia de 30% para aceites y grasas, 26.9% para DBO, 23.8% para DQO, 35.9% para SST evidencian un bajo nivel de eficiencia de la planta al no cumplir los rangos de remoción esperados,asimismo determinó un valor de eficiencia de -54% para los coliformes termotolerantes, que supone un aumento de los parámetros microbiológicos, asimismo, Valeriano (2023) determino valores de eficiencia de remoción de Aceites y Grasas de 86.7%, Coliformes termotolerantes de 41.5%, de DBO de 85.63%, de DQO de 85.10% y de SST de 98.80%. Los resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación evidenciándose que para ningún parámetro se cumple el nivel de eficacia esperado.

Estos resultados se atribuyen a la falta de mantenimiento de la planta y la falta de capacidad en la operación de la misma, es preciso señalar que la planta no se encuentra operando en toda su magnitud, debido a que no se está utilizando los filtros lentos de arena, que son el último componente del tren de tratamiento, debido a la obstrucción de las tuberías que derivan el agua residual del componente anterior (sedimentadores) hacia estos filtros lentos. Asimismo, es preciso mencionar que la planta no cuenta con todo su perímetro cercado, por lo que es propenso al ingreso de agentes externos al personal del Municipio, por lo que se evidencio la presencia de niños jugando en la PTAR, la presencia de animales vacunos pastando en las áreas de la PTAR Macari, lo que podría responder al aumento de ciertos parámetros evaluados.

4.2. RESPECTO AL CUMPLIMIENTO DEL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

Para proponer una propuesta de rediseño de la PTAR Macari para mejorar la operatividad y la eficiencia de la PTAR del distrito de Macari, primero se determina la configuración actual de la PTAR como se muestra en la figura 11.

La PTAR del distrito de Macari, cuenta con las siguientes estructuras:

1. Separador de sólidos
2. tanque de regulación
3. Separador de grasa
4. Desarenador primario
5. Desarenador secundario
6. Filtros lentos
7. Medidor Parshall
8. Filtros verticales múltiples
9. Reactores biológicos
10. Sedimentadores
11. Poza de lavado y secado
12. Digestor de lodos
13. Losa de compostaje
14. Caseta de operaciones

Es importante señalar que en la evaluación en campo la losa de compostaje y la caseta de operaciones no se encuentran en operación, si bien estas no afectan al tren de tratamiento de aguas residuales, si demuestran la falta de mantenimiento y operación de la planta. Por otro lado los filtros lentos de arena, se encuentran sin usarse dentro del tren de tratamiento de aguas residuales, lo que afecta la eficiencia

de la PTAR y la baja remoción de los parámetros, según lo indicado por los datos recopilados.

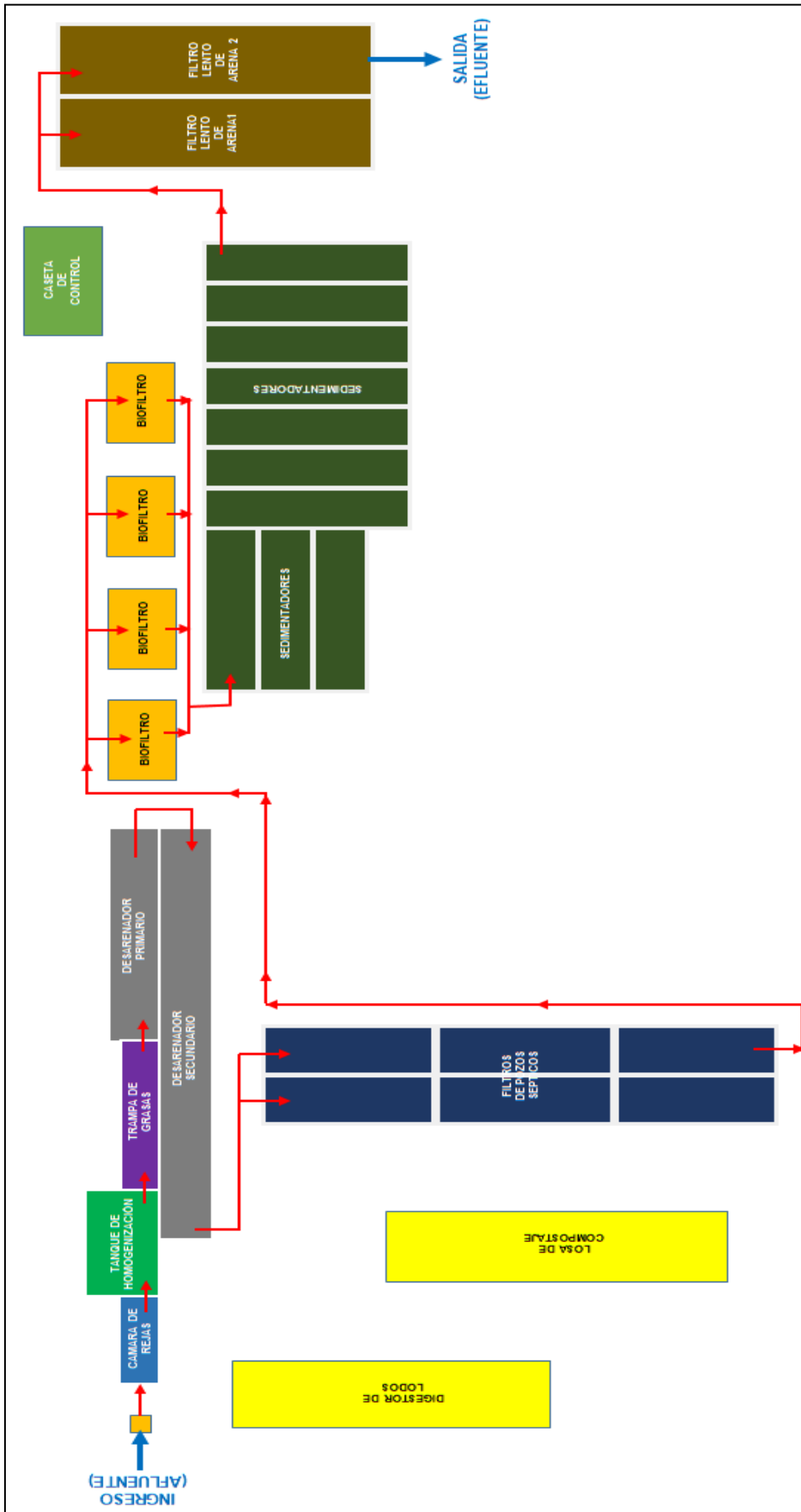


Figura 11. Distribución de componentes de PTAR Macari

Para una mejor eficiencia de remoción de la PTAR se propone la adición de un componente que apoye en reducir la carga contaminante del afluente de la PTAR del distrito de Macari.

La propuesta recomendada por Delgadillo et al. (2010) recomienda que en zona de altura los humedales artificiales son soluciones adecuadas por su bajo costo y requerimientos sencillos de mantenimiento y operación. Asimismo, Meza (2022) señala que los humedales artificiales armonizan con el entorno ambiental por la colocación de plantaciones adaptadas a las condiciones climáticas del lugar.

Los datos usados para el diseño de un humedal artificial de flujo superficial mediante el uso de macrófitas (tatora) son:

Tabla 11: Datos de diseño de humedal artificial PTAR Macari

Descripción		Valor	Und
Población	Pob	1696	Hab
Caudal	Q	425.32	m ³ /d
Contribución de aguas residuales	D	80	%
DBO Afluente	Yi	516.55	mg/L
DBO efluente	Yj	387.41	mg/L
Remanente	R	85	%
Pendiente de fondo	Sf	0.5	%

A partir de estos datos se determina las características del humedal artificial de flujo superficial como se puede visualizar en el Anexo 3 (Hoja de cálculo. Los resultados proponen una laguna artificial con 5 celdas con las siguientes características como se muestra en la figura 12:

- Área Superficial de 246.28 m²

- Longitud del humedal de 26.20 m
- Ancho del humedal de 9.40 m.
- Altura del humedal de 1,21 m
- Tiempo de retención hidráulica de 1.3 días.

En relación a los resultados Raymundo (2017) de igual forma plantea una laguna artificial de área superficial de 242.21 m², con dimensiones de 26.96 m por 8.99 m y un tiempo de retención hidráulico de 1.71 días, que son valores muy similares a los del presente estudio.

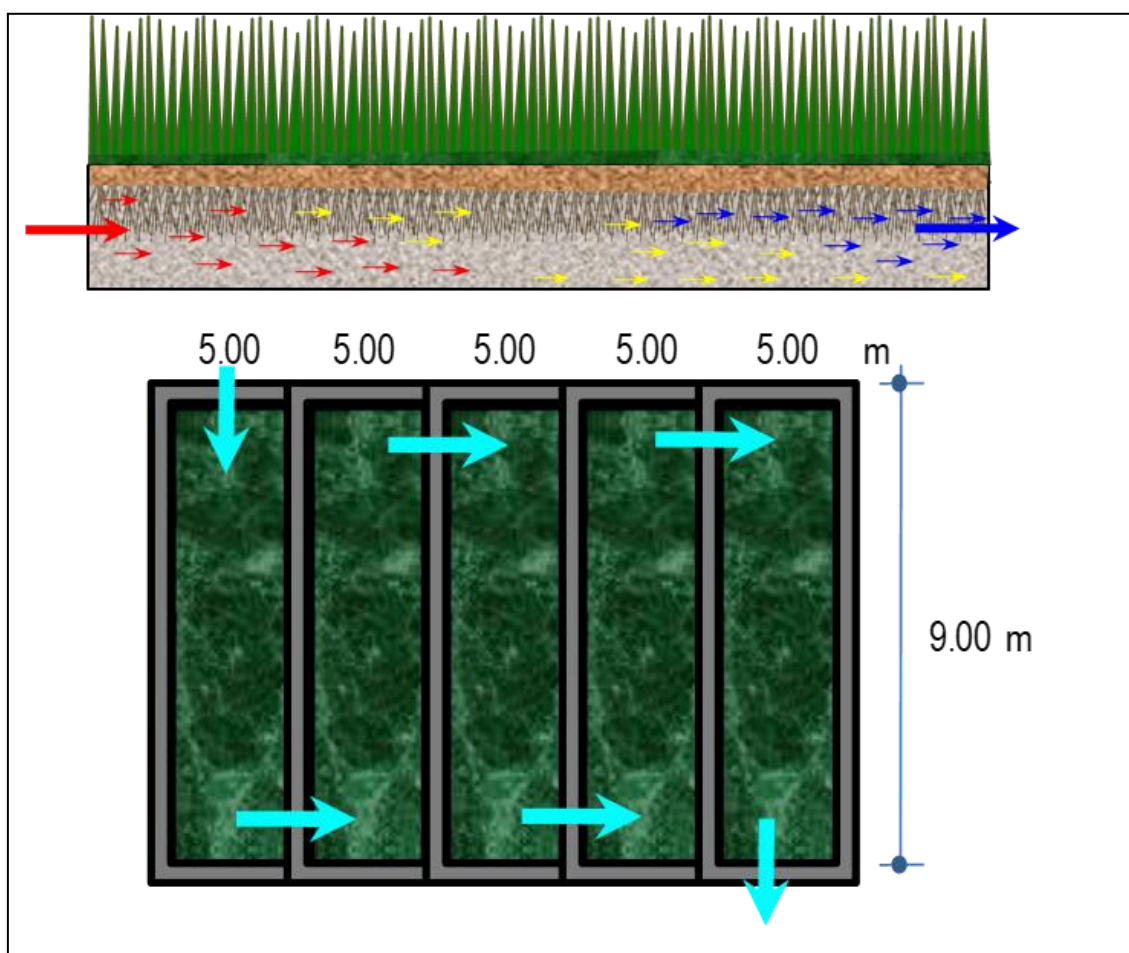


Figura 12. Propuesta de humedal artificial para PTAR Macari

A partir de estos resultados se propone realizar el rediseño de la planta, el mismo que se adicionaría entre los sedimentadores y los filtros lentos de arena, por la disponibilidad de terreno existente dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, como se muestra en la figura 13.

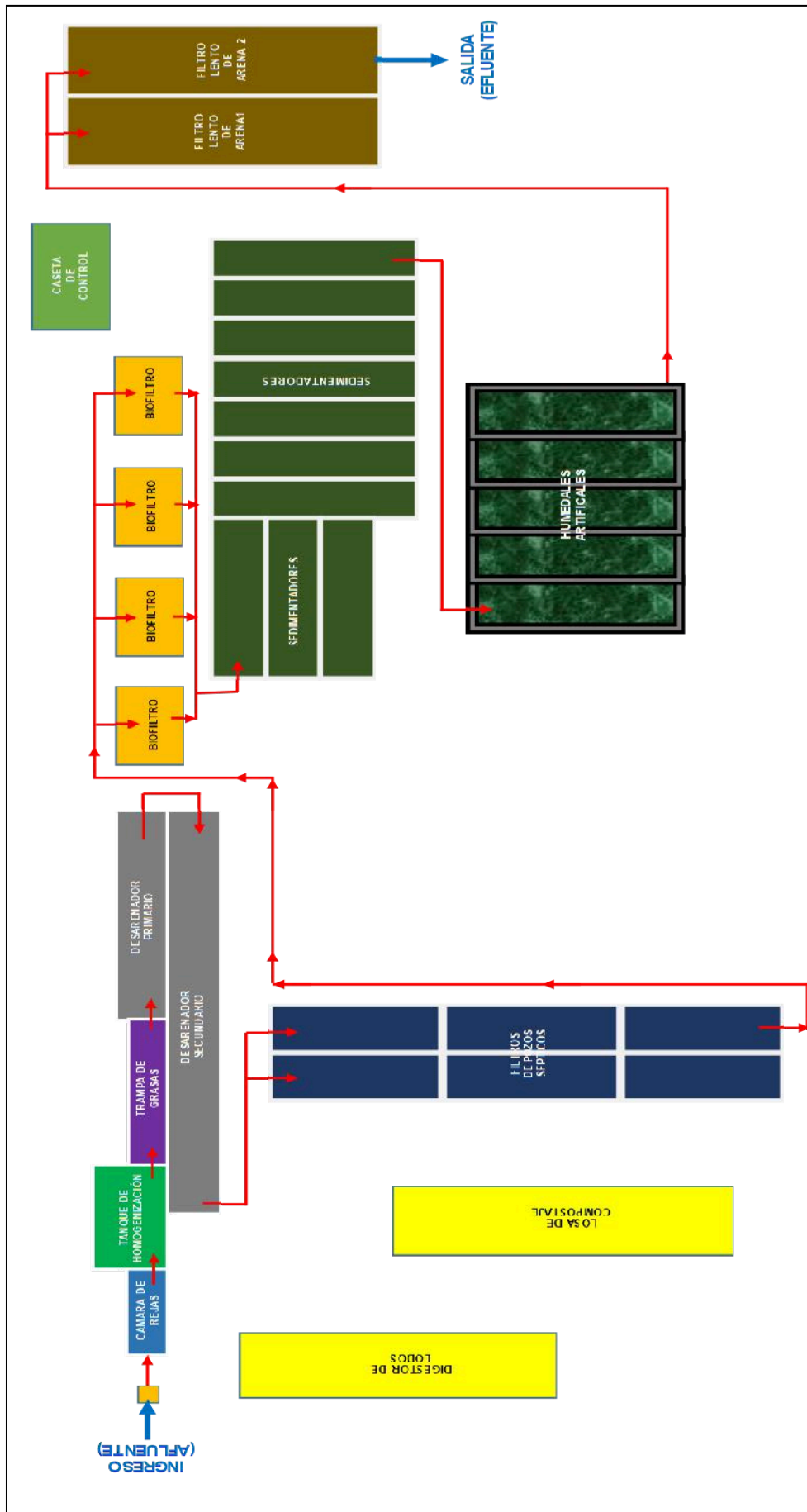


Figura 13. Rediseño de PTAR Macari

4.3. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.3.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Dada la afirmación:

La planta de tratamiento de aguas residuales es ineficiente por lo que es viable la propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.

a) Planteamos la hipótesis nula:

H_0 = La planta de tratamiento de aguas residuales es ineficiente por lo que es viable la propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.

b) Planteamos la hipótesis alterna:

H_1 = La planta de tratamiento de aguas residuales es eficiente por lo que no es viable la propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 10 sobre los porcentajes de remoción por parámetro de la PTAR del distrito de Macari, se concluye que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Macari tiene una eficiencia del 12.48 %, por ende se acepta la hipótesis Nula y se rechaza la hipótesis alterna H_1 .

CONCLUSIONES

PRIMERA: Los parámetros pH, DBO, DQO, SST, aceites y grasas no cumplen con la normativa de los LMP para efluentes de la PTAR, cumpliendo sólo para los parámetros de coliformes termotolerantes y temperatura, asimismo, la eficiencia de remoción de la DBO es de 25.8 %, DQO de -21.1 %, SST de -24.4 %, coliformes termotolerantes de 87.5 % y aceites y grasas con -8.4 % por consiguiente la eficiencia de remoción de carga contaminante de la PTAR Macari no cumple con los rangos de eficiencia esperada, por lo que se propone el rediseño de la PTAR ajustándose al actual tren de tratamiento y a la disponibilidad de terreno, presentando como alternativa la adición de lagunas artificiales para la PTAR Macari.

SEGUNDA: Se determinaron valores de afluente y efluente de pH de 4.91 y 4.90, temperatura 16.16°C y 16.30°C, una DBO de 516.55 mg/L y 383,45 mg/L y DQO de 791.37 mg/L y 958,51 mg/L respectivamente, así como coliformes termotolerantes de 120 NMP/100mL y 15 NMP/100 mL, SST de 1315 mg/L y 1636,5 mg/L, aceites y grasas con 81.56 mg/L y 88.41 mg/L determinando que, dichos parámetros no cumplen con los LMP para efluentes de PTAR a excepción de los coliformes termotolerantes y la temperatura. Asimismo, la eficiencia de remoción son para DBO de 25.8%, DQO de -21.1%, SST de -24.4%, coliformes termotolerantes de 87.5% y aceites y grasas de -8.4%, valores que señalan que la remoción de carga contaminante no cumplen con los rangos de eficiencia

TERCERA: Se propuso un rediseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari consistente en la adición de lagunas artificiales entre los sedimentadores y los filtros lentos de arena. Las lagunas artificiales de flujo superficial mediante nave de macrófitas con totora, 5 celdas en una área de 246.28 m², longitud de 26.20 m, ancho de 9.40 m y una altura de 1,21 m con un tiempo de retención hidráulico de 1.3 días.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A la Municipalidad Distrital de Macari se recomienda rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales en base a la propuesta, para mejorar su eficiencia para el distrito de Macari, esto principalmente referido al área de medio ambiente, área técnica municipal e infraestructura.

SEGUNDA: Al personal de operadores de la PTAR realizar muestreos mensuales, con el fin de verificar los parámetros que describen los límites máximos permisibles, asimismo dar el mantenimiento respectivo a la PTAR, asimismo, realizar los mantenimientos respectivos de todos los componentes de la PTAR

TERCERA: A los investigadores se recomienda realizar investigaciones para determinar la eficiencia en cada sistema del tren de tratamiento a fin de evaluar el punto de inflexión en el tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Abello, V., Muñoz, E., Lira, S., & Garrido, E. (2020). Evaluación de eco-eficiencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(2), 190-228. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-02-05>
- Alianza por el agua, & Centro de las nuevas tecnologías del agua. (2008). *MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS*. Ideasmares. https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/manual_depuracion.pdf
- Andrade, R. (2020). *Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, región Puno—2020*. Universidad Privada San Carlos.
- Arias, J. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del distrito de Chucuito, Provincia de Puno—2020*. Universidad Privada San Carlos.
- Auccatinco, R. (2021). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco*. Universidad Continental.
- Cabrera, L., & Zevallos, L. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén*. Universidad Nacional de Jaén.
- Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya, E. (2021). *EFICIENCIA DE Eisenia foetida Eichornia crassipes E HIPOCLORITO DE CALCIO EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN MOQUEGUA, PERÚ*. 20(1), 83-92. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones* (Primera edición). McGraw-Hill.
- De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*

- (Primera edición). REFUGIA CENTRO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ECOBIODIVERSIDAD A. C.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.
- López, C., Buitrón, García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing.
- Mamani, Y. (2017). *Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de llave, provincia El Collao* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Martín, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J., & Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes* (Primera edición). icrew. <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>
- Mercado, Á., Cossío, C., & Copa, M. (2020). Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia. *ACTA NOVA*, 9(4), 524-542.
- Meza, J. (2022). *Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales en la comunidad nativa Teoría—Satipo, en el año 20202*. Universidad Peruana Los Andes.
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: GUÍA DE APOYO PARA CIUDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS* (Primera edición). Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Noyola, A., Vega, E., Ramos, J., & Calderón, C. (2000). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales* (Tercera edición). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Raymundo, J. (2017). *Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial en el centro poblado La Punta—Sapallanga*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Romero, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales* (Primera edición). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2010). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Teoría y principios de diseño* (Tercera Edición). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sharon, Z., Awang, A., & Bolong, N. (2023). Water quality evaluation at Trusan Regional water treatment plant, Lawas, Sarawak. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.113>
- SINIA. (2015). *Tratamiento y reuso de aguas residuales*. MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- SUNASS. (2015). *DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO DE OPERACIÓN DE LAS ENTIDADES PRESTADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO* (Primera edición).
- Valeriano, E. (2023). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yunguyo—Puno, 2022*. Universidad Privada San Carlos.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y propuesta de un rediseño para el distrito de Macari, Melgar - 2023

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	METODOLOGÍA	
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General						Tipo de Investigación
¿Cuál será la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y viabilidad de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023?	Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente y proponer un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.	La planta de tratamiento de aguas residuales es ineficiente por lo que es viable la propuesta de un rediseño para el mejoramiento del tratamiento actual en el distrito de Macari, Melgar – 2023.	Planta de tratamiento de aguas residuales	Tipo del sistema de tratamiento de PTAR	Ubicación	Lugar	Investigación aplicada	
					Caudal	Lts/s	Diseño de investigación	
					Tren de tratamiento	und	No experimental	
					Dimensiones	m	Método de Investigación	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente					
¿Cómo son los valores de los parámetros	Evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el	Los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el afluente	Calidad de aguas	Parámetros Físicos	pH	und pH	Población	

fisisquímicos y microbiológicos, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, provincia de Melgar, 2023?	afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, provincia de Melgar y verificar si cumplen con los LMP.	y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macari, Melgar superan los límites máximos permisibles para aguas residuales.	residuales	Parámetros Químicos	Temperatura	°C	PTAR del distrito de Macari, provincia de Melgar
						Sólidos totales en suspensión	
¿Será factible una propuesta de un rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar - 2023?	Proponer un rediseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar.	La propuesta de un rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Macari, provincia de Melgar - 2023, es factible debido a su mal estado		Parámetros Microbiológicos	Aceites y grasas	mg/L	Muestra
					DQO	mg/L	
					DBO	mg/L	
					Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	

Anexo 02: Certificado de análisis de agua residual



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Certificado de Análisis

Nº 002516

ASUNTO : ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES

PROCEDENCIA : PTAR DISTRITO MACARI - PROVINCIA MELGAR

PROYECTO : "EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTE Y PROPUESTA DE UN REDISEÑO PARA EL DISTRITO DE MACARI, MELGAR - PUNO 2023".

INTERESADO : NELSON RICARDO SALGADO GARCIA

MOTIVO : ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES

MUESTREO : 16/10/2023, por el interesado

ANÁLISIS : 16/10/2023

COD. MUESTRA : B0009/000512

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido

COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FISICO - QUÍMICAS

PARAMETROS FISICO QUIMICOS	UNIDAD	AFLUENTE RESULTADOS	EFLUENTE RESULTADOS	METODO ANALITICO
Potencial de Hidrogeno	pH	4.91	4.90	Electrométrico
Temperatura	°C	16.16	16.30	Termómetro
Sólidos en suspensión	mg/L	1315.00	1636.50	Gravimétrica
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	791.37	958.51	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	516.55	383.45	Digestión cerrada
Aceites y grasa	mg/L	81.56	88.41	Soxlet

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICO

PARAMETROS FISICO QUIMICOS	UNIDAD	AFLUENTE RESULTADOS	EFLUENTE RESULTADOS	METODO ANALITICO
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	120	15	NMP/100ml
Coliformes fecales	NMP/100ml	< 5	< 5	NMP/100ml

Puno, C.U. 16 de noviembre del 2023
VºBº



ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393



Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral Nº 1153, Facultad de Ingeniería Química - Cel: 951755420

Anexo 03: Hoja de cálculo de diseño de lagunas artificiales

DISEÑO DE LAGUNAS ARTIFICIALES

Tesis: "EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTE Y PROPUESTA DE UN REDISEÑO PARA EL DISTRITO DE MACARI, MELGAR - 2023"

1.- DATOS DE DISEÑO:

Pob =	1696 Hab	
Q =	425.00 m ³ /d	alcantarillado.
D =	80 %	Contribucion de aguas residuales
Dot =	105 L/hab/d	Dotación de agua.
SSTi =	131.00 mg/L	Solidos totales en suspensión
Yi =	516.55 DBO ₅ mg/L	Afluente desde el Reactor Biologico
Yj =	439.07 DBO ₅ mg/L	Efluente mejorar diseño
R =	85.00 %	Remanente
Sf =	0.5 %	Pendiente del fondo acondicionado a la topografía (0.5 a 1%)

MATERIAL SELECCIONADO PARA EL HSFS:

D ₁₀ =	32 mm	Del estudio granulometrico del material a utilizar en la zona de estudio.
Tipo =	Grava media.	En funcion al D ₁₀
n =	40 %	
Ks =	25000 m ³ /m ² *d	Conductividad hidraulica

CARACTERISTICAS DE LA MACROFITA:

Veg =	Scirpus Californicus	SFS
hveg =	1.2 m	en promedio para zona fría.
Pr =	0.86 m	Grava saturada (altura de raíz + lecho de soporte)
Ev =	0.25 m	Residuos vegetales.
Egs =	100 mm	grava gruesa y seca

CARACTERISTICAS DEL CLIMA:

Tint =	10 °C	Temperatura del agua en la entrada al HSFS
Th =	10 °C	Temperatura del agua en el HSFS.
Tcinv =	-8.00 °C	Temperatura critica del invierno de la zona de estudio (SENAMHI).

2.- CALCULO DE PARAMETROS DE DISEÑO:

2.1.- Calculo de la constante de primer orden de temperatura:

$$K_T = K_{20} \cdot (1.06)^{(T-20)} = 0.62 \text{ d}^{-1}$$

Donde:

$$K_{20} = 1.104 \text{ d}^{-1}$$

2.2.- Determinación del area superficial requerida

$$As = Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e) / (K_T \cdot y \cdot n) = 231.493 \text{ m}^2$$

$$y = 1.21 \text{ m}$$

3.- DISEÑO DEL HSFS:

3.1.- Determinación del tiempo de retención hidraulica

$$HST = (As \cdot y \cdot n) / Q = 1.3 \text{ d}$$

3.2.- Calculo de la temperatura promedio del agua:

$$U = 1 / (y_1/k_1 + y_2/+k_2 + \dots + y_n/k_n) = 0.18 \text{ W/m}^2$$

$$Tc = [(T_o - T_a) \cdot \sigma \cdot U \cdot As \cdot t] / (Cp \cdot \gamma \cdot As \cdot y \cdot n) = 0.2 \text{ °C}$$

$$Te = Tint - Tc = 9.8 \text{ °C}$$

$$Tw = (Tint + Te) / 2 = 9.9 \text{ °C}$$

Ok la T° y Dimensiones son correctas

Tabla N°1

Material	K (W/m ² °C)
Aire (sin convección)	0,024
Nieve (nueva o suelta)	0,08
Nieve (de largo tiempo)	0,23
Hielo (a 0 °C)	2,21
Agua (a 0 °C)	0,58
Capa de restos de vegetación	0,05
Grava seca (25% de humedad)	1,5
Grava saturada	2,0
Suelo seco	0,8

3.3.- *Calculo de cantidad de celdas de HSFS:*

celdas = 5 celdas
 $A_u = 46.30 \text{ m}^2$

$$W = y^{-1} [(Q \cdot A_s) / (S \cdot K_s)]^{0.5} = 10.4 \text{ m}$$

Tabla N°2

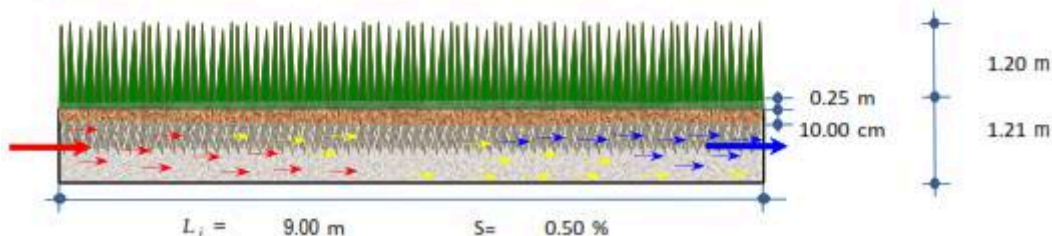
Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, k_s ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	10.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

$$L = A_s / W = 4.5 \text{ m}$$

Relacion W/L (2 a 5) = 2
 $W = (A_s / (W/L))^{0.5} = 4.80 \text{ m} \implies \text{Asumimos} = 5 \text{ m}$

$$\implies L:W = 1.9 : 1$$

$$L = A_s / W = 9.00 \text{ m}$$



4.- **VERIFICACION DEL MODELO:**

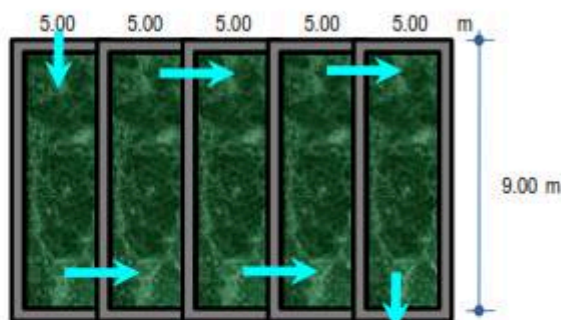
4.1.- *Remoción DBO:*

$$H_{sfs} : \text{Hydraulic dept} = 100 \cdot Q \cdot A^{-1} = 183.591 \text{ cm/d}$$

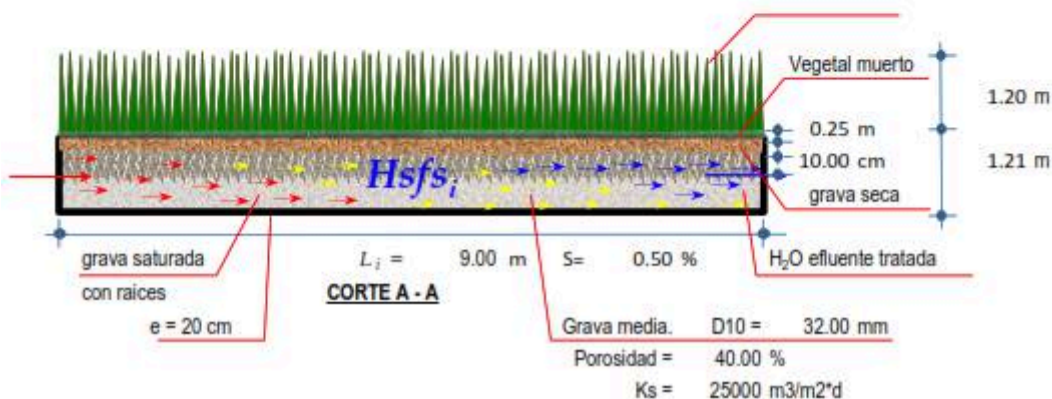
$$H_{sfs} : Y_j = Y_i \cdot (0.1058 + 0.00141(H_d)) = 47.530 \text{ mg/L}$$

Ok funciona

5.- **REPRESENTACION GEOMETRICA:**






Area minima requerida:
 Area de HSFS = 246.28 m²



Anexo 04: Registro de cadena de custodia

REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA													
Nombre de la PTAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE MACARI - MELGAR - PUNO													
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido					Observaciones
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT	
01	X		16/10/23	7:00	P	4.00 L	—	X	X	X	X	X	
02		X	16/10/23	7:10	P	4.00 L	—	X	X	X	X	X	
Hora de entrega al medio de transporte													

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio			
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Fecha
Evaristo Mamani	Municipalidad Distrital de Macari		Nelson Salgado	UPSC		Nelson Salgado	UPSC					

Anexo 05: Panel fotográfico



Figura 14. Toma de muestra en efluente



Figura 15. Toma de muestra en afluente



Figura 16. Toma de muestra en la PTAR del distrito de Macari



Figura 17. Muestras para el análisis microbiológico



Figura 18. Vista de los desarenadores primario y secundario



Figura 19. Biofiltros de la PTAR Macari



Figura 20. Vista de los sedimentadores



Figura 21. Filtros lentos de arena sin funcionamiento