

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL SEDE JAÉN



TESIS:

**“EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JAÉN – CAJAMARCA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

JOSÉ DANILO PÉREZ OCLOCHO

ASESOR:

Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

CAJAMARCA - PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **JOSÉ DANILO PÉREZ OCLOCHO**
DNI: **70041564**
Escuela Profesional: **Ingeniería Civil**
2. Asesor: **Gaspar Virilo Méndez Cruz**
Facultad: **Ingeniería**
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JAÉN – CAJAMARCA
6. Fecha de evaluación: **30/10/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **11 %**
9. Código Documento: **Oid: 3117:520725327**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 30 de octubre de 2025



FIRMA DEL ASESOR
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 30/10/2025 22:35:28-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TÍTULO : *EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JAÉN - CAJAMARCA.*

ASESOR : *Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0764-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de diciembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de enero de 2026**, siendo las quince horas (03:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Vocal : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JAÉN - CAJAMARCA*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil *JOSE DANILO PEREZ OCLOCHO*, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *06* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *17* PTS. *Diecisiete* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* con el calificativo de *Diecisiete* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *16:20* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Hermes Roberto Mosqueira Ramírez
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Presidente

José Francisco Huamán Vidaurre
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal

José Hilario Longa Álvarez
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Secretario

Gaspar Virilo Méndez Cruz
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Asesor

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, donde me formé como un profesional de bien que sigue los principios de la ética, moral y la responsabilidad.

A mi asesor, el Ingeniero Gaspar Virilo Méndez Cruz, quien me guío a lo largo del desarrollo de esta tesis demostrándome pasión, entrega y, sobre todo, paciencia. Todo ello, me permitió realizar una tesis de alta calidad.

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios quien cada día me permite seguir adelante, brindándome, salud y bienestar. Por su guía incesante que me permite tomar las decisiones correctas. Por su protección que me ayudó a evitar situaciones desagradables.

Dedico la presente investigación a mis padres, quienes velaron por mí y mi crecimiento, dándome todo lo que estuvo a su alcance para convertirme en la persona que soy hoy en día.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE FIGURAS	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. Contexto	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	2
1.1.3. Justificación de la investigación	3
1.1.4. Limitaciones y restricciones de la investigación	3
1.1.5. Delimitación de la investigación	4
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1. Internacionales	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2. Nacionales	6
2.1.3. Locales	10
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.2.1. Agua residual	11

2.2.2. Tratamiento de agua residual	12
2.2.3. Laguna de oxidación	13
2.2.4. Clasificación de las lagunas de oxidación	14
2.2.5. Consideraciones para el diseño de lagunas de oxidación	20
2.2.6. Ventajas y desventajas de las lagunas de oxidación	25
2.2.7. Límites máximos permisibles y monitoreo de calidad	25
2.2.8. Eficiencia de remoción en lagunas de oxidación	28
2.2.9. Operación y mantenimiento de lagunas de oxidación	29
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
3.1.1. Aspecto físico – geográfico	35
3.1.2. Información urbanística de Jaén	37
3.2. METODOLOGÍA	40
3.2.1. Tipo de estudio	40
3.2.2. Diseño de estudio	40
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.3.1. Población	40
3.3.2. Muestra	41
3.3.3. Unidad de análisis	41
3.3.4. Unidad de observación	41
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	42
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	43
4.2. DISCUSIÓN	70
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73

5.1. CONCLUSIONES	73
5.2. RECOMENDACIONES	75
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
A. BIBLIOGRAFÍA	76
CAPÍTULO VII: ANEXOS	79
Anexo N° 01. Informe Técnico de Batimetría, y Operación y Mantenimiento de la PTAR.	80
Anexo N° 02. Relación de trabajadores de la PTAR	104
Anexo N° 03. Tablas de resultados de laboratorio	106
Anexo N° 04. Planos	135
Anexo N° 05. Fotografías de campo	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Medidas y tiempos de retención recomendables de las lagunas de oxidación.....	20
Tabla 2.	Profundidades y tiempos de retención hidráulica recomendados para lagunas de estabilización.....	20
Tabla 3.	Límites máximos permisibles de efluentes procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 4.	Frecuencia de monitoreo de acuerdo al caudal de la PTAR.....	26
Tabla 5.	Consideraciones de monitoreo en la PTAR.....	26
Tabla 6.	Eficiencias teóricas de las lagunas de oxidación.....	29
Tabla 7.	Operación y mantenimiento de lagunas de oxidación.....	30
Tabla 8.	Actividades mínimas y frecuencia de operación y mantenimiento en las PTAR según normativa nacional.....	31
Tabla 9.	Caudal de trabajo de la PTAR de mayo del 2024.....	48
Tabla 10.	Parámetros obtenidos para el diseño de las lagunas anaerobias.....	50
Tabla 11.	Comparación de las áreas de las lagunas anaerobias.....	50
Tabla 12.	Parámetros para el diseño de las lagunas facultativas.....	51
Tabla 13.	Comparación de las áreas de las lagunas facultativas.....	52
Tabla 14.	Características de las aguas residuales que llegan a la PTAR.....	53
Tabla 15.	Características del agua del afluente de la PTAR.....	58
Tabla 16.	Eficiencia de remoción de la PTAR.....	62
Tabla 17.	Comparación de los resultados del afluente y efluente de la PTAR con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa nacional (DSN° 003-2010-MINAM).....	64
Tabla 18.	Análisis comparativo de las frecuencias de operación y mantenimiento de la PTAR Jaén según el RCPSS.....	66
Tabla 19.	Cuadro comparativo de actividades de operación y mantenimiento de la PTAR de Jaén frente a la frecuencia mínima normativa (SUNASS – Anexo 11)	69
Tabla 20.	Comparación de tesis relacionadas con la evaluación técnica y eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las aguas residuales.....	12
Figura 2. Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	13
Figura 3. Clasificación de las lagunas de oxidación según la ubicación.....	15
Figura 4. Secuencialidad del tratamiento de aguas residuales en lagunas de oxidación según la Norma OS.090 del RNE.....	16
Figura 5. Esquema de lagunas de oxidación en serie.....	16
Figura 6. Esquema de lagunas de oxidación en paralelo.....	16
Figura 7. Clasificación de las lagunas de oxidación de acuerdo a su forma de operación.....	17
Figura 8. Laguna de estabilización anaerobia.....	18
Figura 9. Laguna de estabilización facultativa.....	18
Figura 10. Laguna de maduración.....	19
Figura 11. Secuencia del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	19
Figura 12. Descripción de los parámetros considerados en los LMP.....	28
Figura 13. Localización de las lagunas de oxidación en el distrito de Jaén.....	33
Figura 14. Ubicación provincial del estudio.....	33
Figura 15. Ubicación distrital del estudio.....	33
Figura 16. Localización de las lagunas de oxidación en el distrito de Jaén.....	33
Figura 17. Tendencia de crecimiento poblacional de la ciudad de Jaén.....	39
Figura 18. Demanda química de oxígeno del afluente.....	54
Figura 19. Demanda bioquímica de oxígeno del afluente.....	55
Figura 20. Potencial de iones de hidrógeno del afluente.....	55
Figura 21. Temperatura del afluente.....	56
Figura 22. Sólidos totales suspendidos en el afluente.....	57
Figura 23. Coliformes termotolerantes en el afluente.....	57
Figura 24. Demanda química de oxígeno del efluente.....	59
Figura 25. Demanda bioquímica de oxígeno del efluente.....	59
Figura 26. Potencial de iones de hidrógeno del efluente.....	60
Figura 27. Temperatura del efluente.....	60
Figura 28. Sólidos totales suspendidos del efluente.....	61
Figura 29. Coliformes termotolerantes a 44.5 °C del efluente.....	61
Figura 30. Actividades de operación y mantenimiento en la PTAR.....	65

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue realizar la evaluación técnica del proceso de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Jaén – Cajamarca, ya que la población que se ubica al Noreste de la ciudad, muestra su preocupación por el funcionamiento de la PTAR, por cuanto existe la generación de fuertes olores, la existencia de muchos vectores y en tiempo de estiaje, el uso de las aguas residuales crudas en el regadío de cultivos. Para tal fin se realizó la caracterización física de la PTAR, complementando con las características químicas y biológicas de las aguas residuales; obteniendo la siguiente información: la PTAR, está compuesta de un tratamiento preliminar (cribado y desarenador), tratamiento primario (laguna anaerobia), tratamiento secundario (lagunas de oxidación facultativa, posicionada en serie) asimismo la PTAR tiene un área de 10.26 hectáreas y el tratamiento secundario 5.93 hectáreas; el caudal promedio diario de ingreso en época de estiaje es de 541.04 l/s. Para la caracterización química-biológica, se realizó el análisis a nivel de laboratorio de muestras del afluente y efluente de la PTAR, el cálculo de la eficiencia de la remoción, así como la evaluación de las actividades de operación y mantenimiento. Los resultados de la presente tesis muestran deficiencias de la planta de tratamiento de aguas residuales, dado que se encontró que a pesar de contar con lagunas de oxidación de dimensiones apropiadas para la demanda de la ciudad de Jaén, la eficiencia de remoción de los sólidos totales suspendidos no alcanza el 80 % tal como requiere la norma OS.090, sumado a ello, fue detectado que en los meses de febrero y marzo no se cumplen con los límites máximos permisibles para los parámetros de pH y coliformes termo tolerantes de acuerdo al DS 003-2010 del Ministerio del Ambiente en el mes de febrero. Se concluye que la deficiencia responde principalmente a falencias en las actividades de operación y mantenimiento del sistema, lo que ocasiona que, al menos durante dos meses al año, la calidad del agua tratada vertida a los cuerpos naturales no cumpla con los estándares establecidos, afectando al medio ambiente y, en consecuencia, a la población de la ciudad de Jaén, Cajamarca.

Palabras clave: PTAR, aguas residuales, lagunas de oxidación, agua tratada.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the wastewater treatment plant in the city of Jaén - Cajamarca, as the population located to the northeast of the city is concerned about the operation of the WWTP, as it generates strong odours, the existence of many vectors and, during the dry season, the use of raw wastewater to irrigate crops. For this purpose, the physical characterisation of the WWTP was carried out, complemented with the chemical and biological characteristics of the wastewater, obtaining the following information: the WWTP is composed of a preliminary treatment (screening and sand trap), primary treatment (anaerobic lagoon), secondary treatment (facultative oxidation ponds, positioned in series), the WWTP has an area of 10.26 hectares and the secondary treatment 5.93 hectares; the average daily inflow during the low water season is 541.04 l/s. For the chemical-biological characterisation, the laboratory analysis of samples of the affluent and effluent of the WWTP, the calculation of the removal efficiency, as well as the evaluation of the operation and maintenance activities were carried out. The results of the present thesis show deficiencies of the wastewater treatment plant, since it was found that in spite of having oxidation ponds of appropriate dimensions for the demand of the city of Jaén, the removal efficiency of total suspended solids does not reach 80% as required by the OS.090 standard. In addition, it was detected that in the months of February and March the maximum permissible limits for the parameters of pH and thermotolerant coliforms according to the DS 003-2010 of the Ministry of Environment in the month of February are not complied with. It is concluded that the deficiency may be due to a problem detected in the operation and maintenance activities of the system, which ultimately leads to the fact that for at least two months of the year the quality of the treated water discharged into natural water bodies is not adequate, damaging the environment and consequently the population of the city of Jaén in Cajamarca.

Key words: WWTP, wastewater, oxidation ponds, treated water.

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Contexto

A nivel internacional se tiene que, el servicio de alcantarillado sanitario es primordial al igual que el de acceder al agua potable; no obstante, uno de los factores más complicados es determinar el cuerpo receptor (Malavé y Quillay, 2019), cuyo grado de contaminación será acorde al tamaño y calidad del efluente, por lo cual diversos gobiernos realizan enormes inversiones buscando vincular el bienestar socioeconómico y ambiental; sin embargo, no se tiene en cuenta con reportes que señalen la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales o de su operación óptima (Angarita y Narváez, 2020).

A nivel nacional, de acuerdo al diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras (SUNASS, 2022) de las 260 localidades que cuentan con empresas prestadoras de servicio, solo 164 de ellas cuenta con una PTAR operativa, representando el 63 %, donde el representante estaría vertiendo a los cuerpos de agua sin tratamiento un promedio de 267.29 millones de m³/año (22 % de todo el alcantarillado); asimismo, de las existentes se tiene que el 78 % corresponden a laguna facultativas, 5 % a lagunas aireadas, 6 % a lodos activados, 5 % a filtros percoladores, 3 % a tanques Imhoff y 1 % a tanques sépticos; sin embargo, la mayoría de empresas prestadoras no cuentan con la infraestructura ni tecnología suficiente para cumplir con los diferentes lineamientos normativos.

En el caso de la ciudad de Jaén, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Jaén, construida en el año 2003, fue diseñada originalmente con un sistema de cuatro lagunas de estabilización (anaerobias y facultativas). Sin embargo, debido al crecimiento poblacional, el aumento del caudal afluente y la acumulación de lodos

en las unidades antiguas, la planta presentó deficiencias en su funcionamiento.

En respuesta a esta situación, en el año 2012 se ejecutó un proyecto de mejoramiento de la PTAR, que comprendió principalmente dos intervenciones:

- Construcción de dos nuevas lagunas de estabilización, diseñadas para complementar el sistema existente y ampliar su capacidad hidráulica y de depuración.
- Extracción de lodos acumulados en las cuatro lagunas antiguas, lo que permitió recuperar parcialmente el volumen útil y mejorar la eficiencia del tratamiento.

Posteriormente, en julio de 2023, se llevó a cabo una nueva intervención de mantenimiento, enfocada en el drenado de agua residual, extracción de lodos y resane de taludes y bordes de la laguna anaerobia primaria, con el fin de restaurar la capacidad hidráulica y operativa del sistema frente al progresivo colmatamiento acumulado durante varios años de operación.

Estas acciones de mejoramiento tuvieron como propósito reducir la sobrecarga hidráulica y orgánica que venía afectando al sistema, así como prolongar la vida útil de la infraestructura. No obstante, pese a estas intervenciones, los monitoreos recientes muestran que el efluente de la PTAR aún presenta dificultades para cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, lo que evidencia la necesidad de nuevas medidas técnicas y operativas.

En este contexto, se hace necesario evaluar técnicamente el proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Jaén, considerando su eficiencia, las condiciones de operación y mantenimiento, así como las deficiencias presentes, con el fin de proponer medidas de mejora que permitan reducir la contaminación del cuerpo receptor.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

- ¿En qué medida el proceso de tratamiento de la PTAR de Jaén cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente y cuál es su impacto en la calidad del cuerpo receptor?

1.1.3. Justificación de la investigación

Social o práctica

Con el desarrollo de la investigación se dará solución al problema que afecta al distrito de Jaén en cuanto a la planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra conformada por lagunas de oxidación, pues la población desconoce el estado de esta, su eficiencia de remoción con la calidad de los efluentes, pues de las visitas a campo realizadas se observó que esta no estaría cumpliendo con los fines principales que es tratar el agua residual.

Metodológica

La justificación metodológica de esta investigación recae en que se deja un precedente para la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales conformada por lagunas de oxidación, en cuanto a sus características, eficiencia de remoción y actividades de operación y mantenimiento, lo cual podrá ser empleado por diversos investigadores o de ser el caso, por empresas prestadores de servicio de diversos sectores.

1.1.4. Limitaciones y restricciones de la investigación

Una de las principales limitaciones para el desarrollo de la investigación fue la caracterización de las aguas sin y con tratamiento por un mayor periodo de tiempo, pues ello no fue factible económicamente.

En cuanto a las restricciones presentes correspondió a la obtención de información referente a la planta de tratamiento, como la calidad del agua en el sistema, las actividades de operación y mantenimiento; no obstante, estas fueron absueltas.

1.1.5. Delimitación de la investigación

La presente investigación se realizó en el área comprendida por las lagunas de oxidación, las mismas que se ubica aproximadamente a 5 km al norte de la ciudad de Jaén.

Los trabajos de campo, se realizó en los meses de enero – agosto del 2024.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Evaluar técnicamente el proceso de tratamiento de la PTAR de Jaén y su incidencia en la calidad del cuerpo receptor, con el fin de proponer medidas de mejora que reduzcan la afectación del recurso hídrico.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la calidad del efluente descargado al cuerpo receptor y verificar su cumplimiento con los límites máximos permisibles.
- b) Identificar las deficiencias técnicas y operativas del sistema que podrían estar contribuyendo a la contaminación y afectando el equilibrio ambiental del cuerpo receptor.
- c) Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR de Jaén en función de los parámetros establecidos por la normativa vigente.
- d) Evaluar las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR para identificar su influencia en el desempeño del sistema.
- e) Determinar el grado de contaminación de la quebrada receptora generado por las descargas de agua tratada de la PTAR de Jaén.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Riffo (2017) en su investigación titulada *“Análisis de ciclo de vida para una planta de tratamiento de aguas residuales: potencial de calentamiento global generado por PTAR Talagante”* en la Universidad de Chile, aplicó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar ambientalmente el proceso de tratamiento de la planta de Talagante, considerando escenarios actuales y futuros. El estudio se enfocó en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), encontrando que el escenario base (2016) generaba 5.100 tCO₂eq anuales, mientras que la implementación de cogeneración con biogás reducía en 17 % dichas emisiones. Asimismo, se determinó que más del 60 % de las emisiones directas provenían del óxido nitroso generado en el tratamiento biológico, lo cual representa el mayor potencial de mitigación. Como conclusión, la autora recomendó optimizar la aireación, implementar tecnologías innovadoras como Anammox y considerar el potencial de calentamiento global en la toma de decisiones sobre proyectos de PTAR

Polanía y Tolorza (2020), en su investigación titulada *“Evaluación del potencial de reuso de aguas residuales tratadas en la PTAR de El Cerrito para riego en cultivos de caña de azúcar”*, analizaron la posibilidad de reutilizar el efluente tratado en la agricultura del Valle del Cauca, Colombia. La metodología incluyó balances hídricos en 18 escenarios de riego, muestreos de agua residual tratada y encuestas a productores. Los resultados mostraron que, aunque el efluente cumplía parámetros de calidad agronómica según FAO y USDA, presentaba riesgos microbiológicos por la presencia de helmintos. Aun así, se evidenció un potencial de aporte de nutrientes (N, P, K) y un 50 % de los agricultores manifestó disposición a pagar por el agua tratada para riego. Concluyeron que el reuso agrícola de aguas residuales es una

alternativa viable para optimizar recursos hídricos y reducir costos, siempre que se implementen tratamientos complementarios de desinfección.

Mejía y Lino (2021) en su investigación titulada “Evaluación del efluente de las lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de la parroquia Punta Carnero, Cantón Salinas y propuesta de tratamiento de las aguas residuales domésticas” con el objetivo de evaluar las condiciones del funcionamiento de las lagunas de oxidación de “Punta Carnero” y verificar la calidad de su efluente mediante pruebas de laboratorio proporcionados por AGUAPEN E.P. Tuvieron como metodología la obtención de la información proporcionada por AGUAPEN E.P. de planos existentes, diseños, consultorías realizadas y pruebas de laboratorio realizadas constantemente. Con ello obtuvieron como resultado que el tratamiento era ineficiente pues no cumplía con los límites de descarga de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) ni de coliformes fecales. Como conclusión pudieron constatar en esta investigación que el crecimiento poblacional del Cantón Salinas y La Libertad fue factor clave para que el sistema no cumpla con los parámetros requeridos por la normativa de calidad de aguas residuales.

2.1.2. Nacionales

En el ámbito nacional, diversas investigaciones han evaluado la eficiencia y los impactos de las lagunas de oxidación en distintas regiones del Perú, contrastando sus resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM y con las disposiciones de la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Estos estudios permiten evidenciar que, aunque las lagunas de estabilización constituyen una alternativa reconocida por la normativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en la práctica presentan limitaciones relacionadas con la remoción de contaminantes, el cumplimiento de los parámetros de descarga y los efectos ambientales sobre los cuerpos receptores.

Jiménez (2024) en su investigación titulada “Evaluación de la eficiencia del proceso de tratamiento en la planta de aguas residuales Taboada y su impacto ambiental en el cuerpo receptor durante el periodo de febrero a abril del 2024” en la Universidad Peruana Cayetano Heredia. La investigación evaluó la eficiencia de la PTAR Taboada, la más grande de Sudamérica, que trata un caudal promedio de 14 m³/s para más de 4 millones de habitantes de Lima y Callao. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como DBO₅, DQO, SST, aceites y grasas, nitrógeno amoniacal, metales y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron remociones significativas en algunos contaminantes (DBO₅: 23.7 %, DQO: 26.6 %, SST: 26.1 %), aunque insuficientes para cumplir con los LMP en varios parámetros como coliformes, aceites y grasas. El estudio concluyó que, si bien la planta mejora la calidad del efluente, se requieren optimizaciones para lograr un cumplimiento pleno y reducir la afectación al cuerpo receptor.

Gil-Villanueva y Natividad-Marín (2023) en su investigación *“Deshidratación de lodo residual a escala piloto en un secador convectivo rotacional, caso: PTAR Santa Clara, Lima, Perú”*. El objetivo fue mejorar la gestión del lodo residual de la planta mediante la reducción de su volumen con secado térmico, disminuyendo los costos de transporte y explorando su potencial reutilización como fertilizante. La metodología incluyó pruebas en laboratorio y en un secador piloto, analizando variables como temperatura (120°C, 150°C, 200°C) y tiempos de residencia (20, 40 y 60 min), así como el efecto de la adición de cal hidratada. Los resultados mostraron que a 200°C y 60 minutos se logró reducir la humedad del lodo a 17.74 %, además de una notable disminución de *Escherichia coli* hasta valores inferiores a los permitidos por la normativa nacional. Aunque se detectaron nutrientes aprovechables (N, P, Mg, C y K), la presencia de ciertos metales indicó la necesidad de estudios adicionales antes de su aplicación agrícola. Los autores concluyeron que esta alternativa podría contribuir a la economía circular y a la disminución de la contaminación.

Urviola (2022) en su tesis titulada “Evaluación ecotoxicológica de los efluentes de la laguna de oxidación El Espinar, en la bahía interior del lago Titicaca de la ciudad de Puno”, tuvo como objetivo determinar el efecto ecotoxicológico agudo del agua residual de la laguna de oxidación “El Espinar”, y del agua superficial de la bahía interior del lago Titicaca de la ciudad de Puno. La investigación consideró como metodología realizar un estudio en el laboratorio de biología celular de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, donde evaluó el efecto ecotóxico agudo del agua superficial mezclado con el agua declarada en proporciones de: 6.25, 12.5, 25, 50, 100 % y un control con agua declarada de dos sectores en el lago Titicaca de la ciudad de Puno. Además, para ello consideró dos sectores para la toma de muestras de las aguas superficiales de la laguna, las cuales fueron: AS-01, zona de descarga de la laguna de oxidación “El Espinar” y AS-02 que es la zona de confluencia del agua residual con la bahía interior del lago Titicaca, esto para evaluar los efectos en los nocivos en los organismos modelo: *Lemna minor* (lenteja de agua) a 168 horas de exposición, *Daphnia magna* (pulga de agua) durante 48 horas de exposición y *Poecilia reticulata* (pez millón) durante 96 horas de exposición. La caracterización fisicoquímica del agua residual de los dos puntos de muestreo, dio como resultado que, el sector AS-01 expresaba los más altos valores en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), además de que el boro y el manganeso superaron ligeramente los estándares de calidad del agua (ECA) correspondiente; asimismo registró una drástica disminución del oxígeno disuelto (OD) e incremento de la conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD). Con relación a la evaluación ecotoxicológica observó una disminución del número total de frondas, peso húmedo y seco en *Lemna minor*, y una elevada mortalidad en *Poecilia reticulata* y *Daphnia magna*, principalmente en el tratamiento del 100 % del sector AS-01, que corresponde a la zona de la descarga de la laguna de oxidación El Espinar. En conclusión, indicó que las Unidades Toxicológicas agudas (UTa) del agua del

sector AS-01 fueron clasificadas como “muy tóxicas” para los peces y Daphnias, así mismo el agua de la zona AS-02 fue considerada “tóxica” para las Daphnias.

Arevalo (2020) en su tesis titulada “Comparación de la eficiencia de tratamientos de aguas residuales en lagunas de oxidación, Uchiza y Trujillo – 2020”, tuvo como objetivo realizar un análisis de datos que relaciona la temperatura, sólidos totales y la demanda bioquímica de oxígeno de la carga orgánica presente en las lagunas de oxidación de las plantas de tratamiento del distrito de Uchiza. La metodología utilizada para la recolección de la muestra de oxígenos disueltos fue la técnica de Winkler. Las muestras tomadas fueron analizadas con el equipo multiparámetro y llevados al laboratorio ambiental para su correcto análisis, estos datos de la eficiencia individual de los tratamientos que generaron ambas lagunas fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes para vertimientos en cuerpos de agua. Como resultados obtuvo que sí cumplían con todos los parámetros exceptuando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sin embargo, sí existió una reducción significativa de este parámetro lo cual es positivo. Como conclusiones indicó que en general las lagunas de oxidación son una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales, y que, aunque en este caso no llegan a cumplir con los LMP de DBO sí ofrecen una reducción significativa de este elemento en las aguas.

Ministerio del Ambiente (2010), a través del *Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM*, establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, definiendo parámetros fundamentales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST), el pH, aceites y grasas, entre otros. El cumplimiento de dichos valores resulta obligatorio antes del vertimiento al cuerpo receptor, con el fin de proteger la calidad ambiental y los ecosistemas acuáticos. Asimismo, el Reglamento Nacional de Edificaciones –

Norma OS.090 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2020), regula los criterios técnicos que rigen el diseño, la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, especificando aspectos relacionados con el caudal de diseño, la selección del tipo de laguna, las profundidades, los tiempos de retención hidráulica y la secuencia de procesos. Estas normativas conforman el marco legal y técnico que orienta la planificación y evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el Perú.

2.1.3. Locales

En el ámbito local, la ciudad de Jaén presenta limitaciones en el tratamiento de sus aguas residuales debido a la capacidad y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existente. La EPS Marañón S.A. ha señalado en diversos reportes internos que, en determinados periodos del año, los efluentes tratados no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana, lo que genera una potencial afectación al cuerpo receptor (río Jaén).

De igual forma, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en informes de monitoreo ambiental en la región Cajamarca ha evidenciado variaciones en la calidad del agua del río Jaén, asociadas al vertimiento de aguas residuales domésticas sin un tratamiento adecuado. Dichos reportes enfatizan la necesidad de optimizar la eficiencia de las lagunas de estabilización y fortalecer las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR.

Asimismo, estudios de diagnóstico ambiental realizados por el Gobierno Regional de Cajamarca han identificado que la infraestructura sanitaria de Jaén requiere mejoras sustanciales para responder al crecimiento poblacional y a las exigencias normativas vigentes. Estas deficiencias locales justifican la importancia de investigaciones técnicas orientadas a evaluar y proponer medidas de mejora para la PTAR.

Cabrera y Zevallos (2019) en su investigación “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén”, en la cual evaluaron el desempeño de la PTAR conforme a la NTP OS.090 y los LMP vigentes. Aplicaron inspecciones de campo, estudios topográficos, análisis de suelos y ensayos de laboratorio (DBO_5 , DQO, pH). Sus resultados mostraron una eficiencia limitada en la remoción de contaminantes: 34.78 % para la DBO_5 y 23.64 % para la DQO en el primer análisis, y apenas 11.75 % y 26.56 % respectivamente en un segundo análisis. Concluyeron que la PTAR de Jaén presenta deficiencias en su funcionamiento, ocasionando descargas que no cumplen con los estándares de la normativa ambiental.

Adrianzén y Castillo (2024), en su investigación titulada “Análisis del estado situacional de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jaén – 2023” en la Universidad Nacional de Jaén, evaluaron las condiciones actuales de la PTAR de la ciudad. Determinaron que las lagunas de estabilización no cumplen adecuadamente con la función de depuración, generando olores molestos y riesgos sanitarios. La metodología empleada incluyó levantamiento topográfico, análisis de suelos mediante calicatas y ensayos, así como muestreos de agua tratada. Los resultados mostraron que el efluente sí cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para parámetros como DBO_5 , DQO, SST, aceites y grasas, pH y temperatura; sin embargo, el terreno actual de la planta resulta inadecuado por su cercanía a la zona urbana. En consecuencia, los autores concluyen que se requiere reubicar la infraestructura en el terreno donado y plantear un nuevo diseño acorde a la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Agua residual

De acuerdo con el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, se entiende por *aguas residuales* aquellas que resulten del uso del agua en actividades domésticas, comerciales, industriales o de otras índoles, y que por su composición física, química o biológica requieran

tratamiento antes de ser vertidas a un cuerpo receptor o reutilizadas. Asimismo, la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2020) establece que las aguas residuales domésticas corresponden a las generadas en viviendas, comercios menores e instituciones, compuestas principalmente por materia orgánica biodegradable, detergentes y microorganismos.

La clasificación de estas aguas se detalla en la figura:



Figura 1

Clasificación de las aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales

De acuerdo con el DSN° 003-2010-MINAM, el tratamiento de aguas residuales consiste en aplicar procesos físicos, químicos y biológicos que aseguran el cumplimiento de los límites máximos permisibles antes de la descarga a un cuerpo receptor. En el caso peruano, las tecnologías más difundidas son las lagunas de estabilización, reconocidas en la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones como una alternativa eficiente para el tratamiento secundario en poblaciones intermedias.

En cuanto a las etapas de tratamiento se tiene los siguientes:

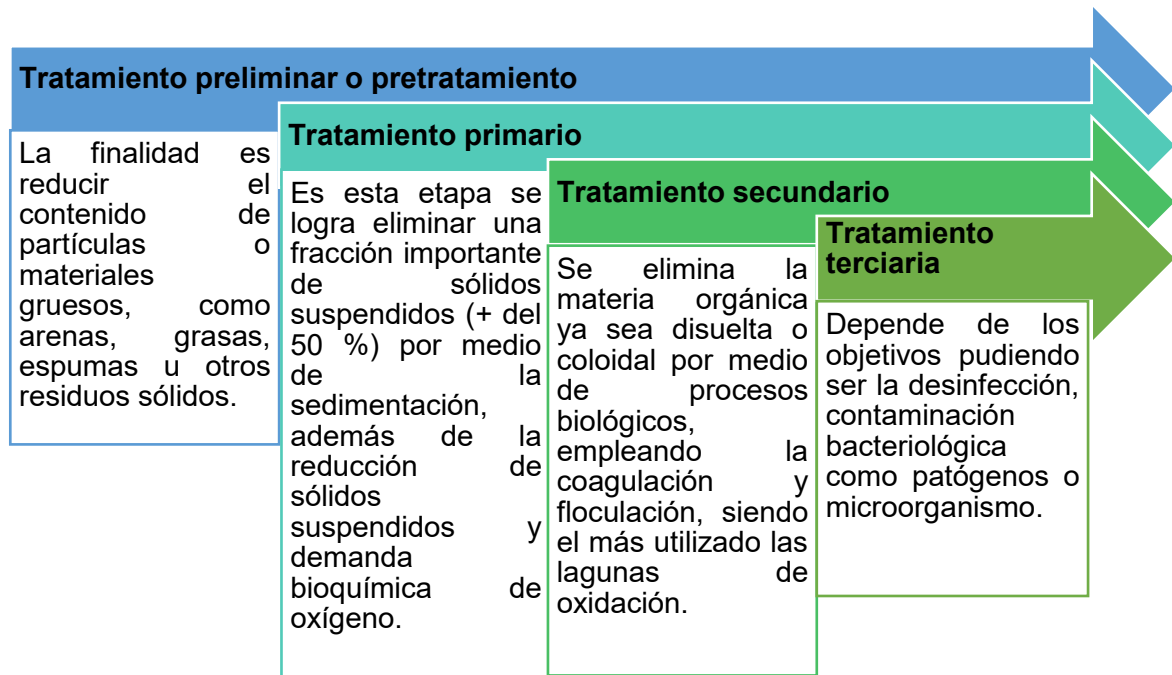


Figura 2

Etapas del tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

2.2.3. Laguna de oxidación

Una laguna de oxidación es un sistema natural de tratamiento de aguas residuales diseñado para depurar el agua mediante procesos físicos y biológicos que ocurren de manera controlada en un cuerpo de agua poco profunda. En estas unidades, la acción conjunta de bacterias, algas y otros microorganismos favorece la degradación de la materia orgánica, mientras que la radiación solar, el oxígeno atmosférico y la sedimentación natural contribuyen a la reducción de contaminantes sólidos y microbiológicos. Según la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, las lagunas de estabilización u oxidación constituyen una alternativa técnica adecuada, eficiente y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones intermedias, especialmente en aquellas donde la disponibilidad de terreno es amplia y los recursos económicos o tecnológicos son limitados. Estas lagunas presentan además la ventaja de requerir una

operación y mantenimiento relativamente simples, lo que las hace sostenibles en contextos locales, aunque su desempeño depende en gran medida de factores climáticos como la temperatura y la radiación solar, que influyen directamente en la eficiencia del proceso de depuración.

2.2.4. Clasificación de las lagunas de oxidación

Según la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, las lagunas de oxidación, también denominadas lagunas de estabilización, constituyen sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales que utilizan procesos biológicos y físicos para la depuración del afluente doméstico. Esta norma las reconoce como una alternativa eficiente y de bajo costo para poblaciones intermedias, debido a su simplicidad operativa y eficacia en la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos.

Además de la clasificación tradicional en lagunas anaerobias, facultativas y de maduración, algunos autores consideran también la ubicación que ocupa cada unidad dentro del tren de tratamiento. En este sentido, la normatividad propone que las lagunas de oxidación pueden clasificarse en:

- **Lagunas primarias:** reciben directamente el agua residual cruda, pudiendo ser anaerobias o facultativas según las características del afluente.
- **Lagunas secundarias:** reciben el efluente proveniente de las lagunas primarias o de otra unidad de tratamiento previo, continuando con el proceso de depuración.
- **Lagunas de alta tasa:** diseñadas para favorecer la producción de algas, lo que incrementa la oxigenación y acelera la degradación de la materia orgánica.
- **Lagunas de pulimento o maduración:** constituyen la última etapa del sistema, destinadas principalmente a la reducción de coliformes y otros patógenos para cumplir con los límites normativos de vertimiento.

Esta clasificación complementa lo establecido en la Norma OS.090 del RNE, pues permite comprender que la ubicación de cada laguna dentro del sistema está asociada a un rol específico en el proceso de depuración.

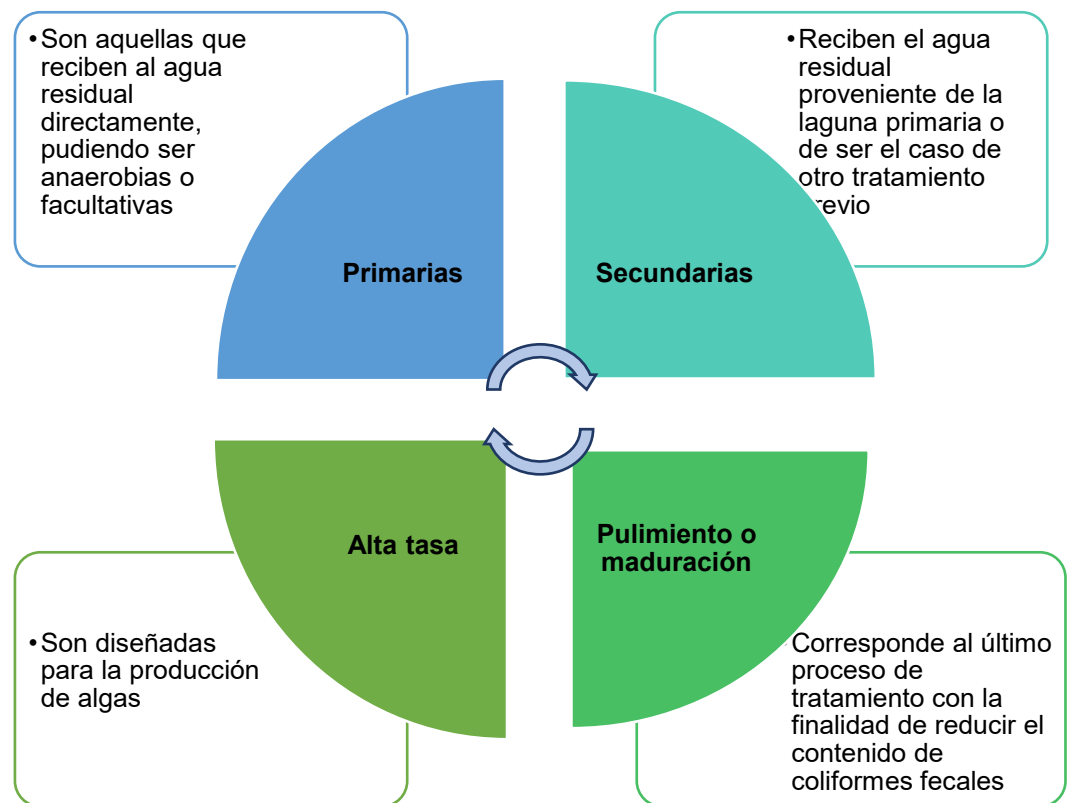


Figura 3

Clasificación de las lagunas de oxidación según la ubicación.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

Otra forma de clasificación de las lagunas de oxidación es de acuerdo a su secuencialidad, es así que en la Figura 4 se describe ello según la Norma OS.090 del RNE; mientras que en la y Figura 6 se detalla el esquema de cada una de ellas.

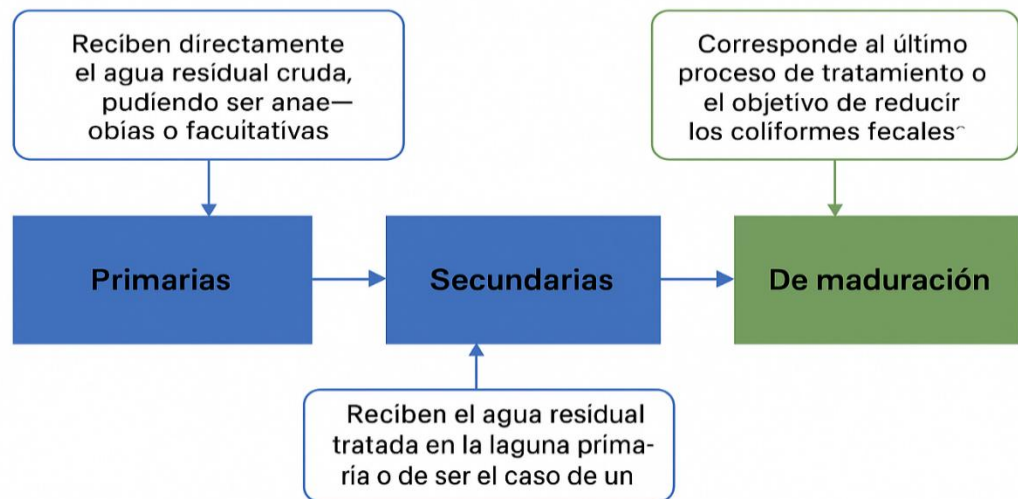


Figura 4

Secuencialidad del tratamiento de aguas residuales en lagunas de oxidación según la Norma OS.090 del RNE.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

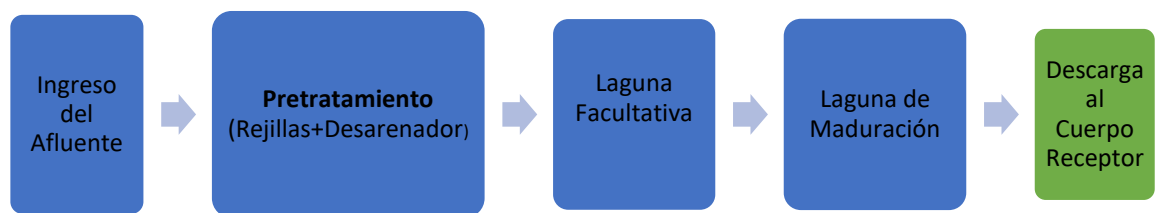


Figura 5

Esquema de lagunas de oxidación en serie.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

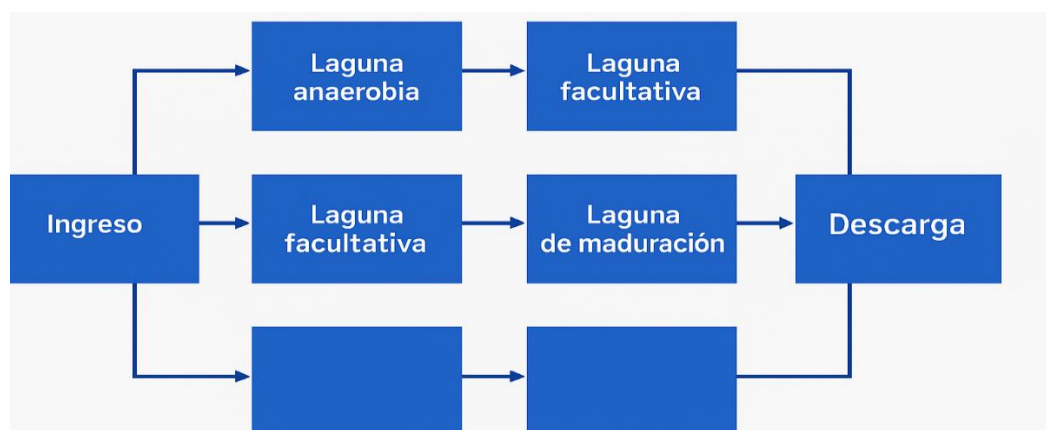


Figura 6

Esquema de lagunas de oxidación en paralelo.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

Las lagunas de oxidación se clasifican en **anaerobias, facultativas y de maduración**, diferenciándose por su profundidad, tiempo de retención hidráulica y las condiciones de oxígeno predominantes. El conjunto de estas unidades, operando en serie, constituye un sistema eficiente y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ampliamente recomendado en poblaciones intermedias según la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

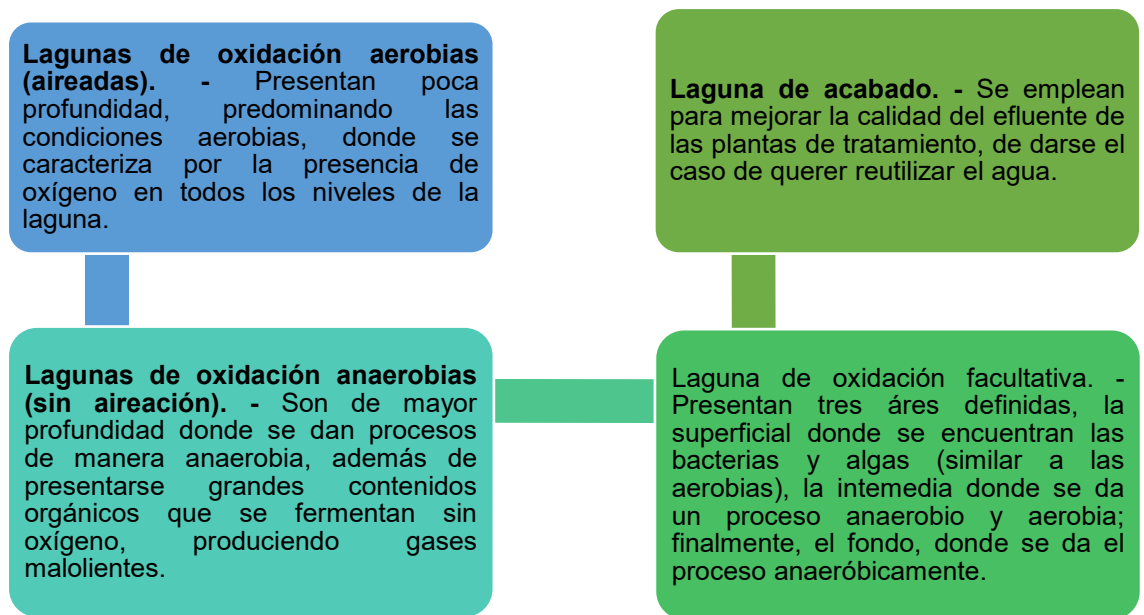


Figura 7

Clasificación de las lagunas de oxidación de acuerdo a su forma de operación.

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

Para un mejor entendimiento, en las siguientes figuras se muestra esquemáticamente cada una de las lagunas de estabilización:

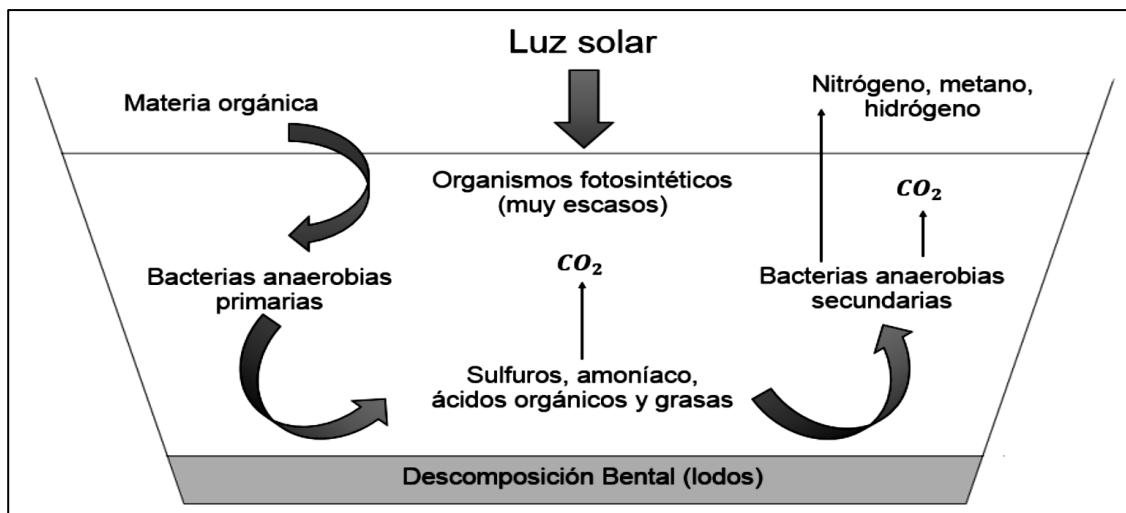


Figura 8

Laguna de estabilización anaerobia.

Fuente: Loaiza (2019).

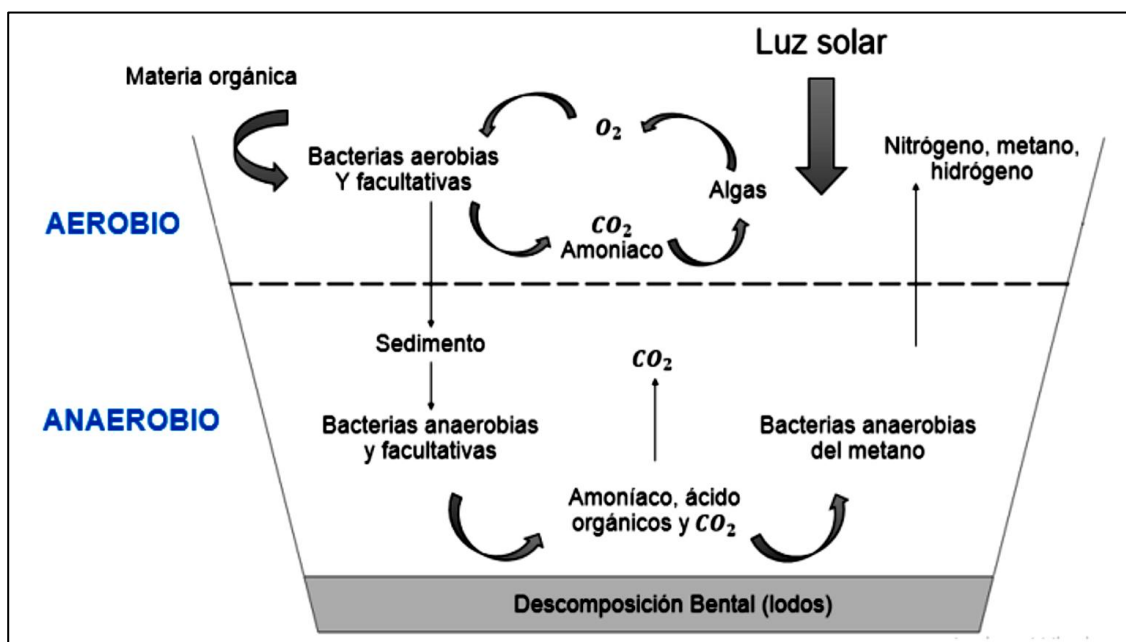


Figura 9

Laguna de estabilización facultativa.

Fuente: Loaiza (2019).

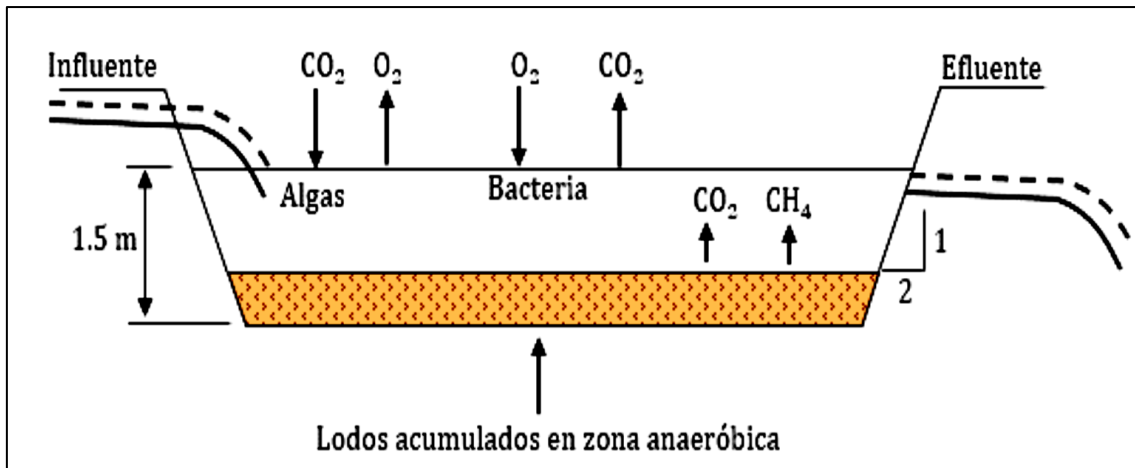


Figura 10

Laguna de maduración.

Fuente: Loaiza (2019).

En síntesis, la clasificación de las lagunas de oxidación puede abordarse desde dos perspectivas complementarias: la normativa y la académica. La Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece la división en lagunas anaerobias, facultativas y de maduración, en función de sus condiciones de operación y de los procesos biológicos predominantes. Asimismo, desde un enfoque técnico, también es posible clasificarlas de acuerdo con su función dentro del sistema, diferenciando lagunas primarias, secundarias, de alta tasa y de pulimiento. Ambas aproximaciones permiten comprender de manera integral el funcionamiento de este tipo de sistemas, lo que se resume en la secuencia presentada en la Figura 11.

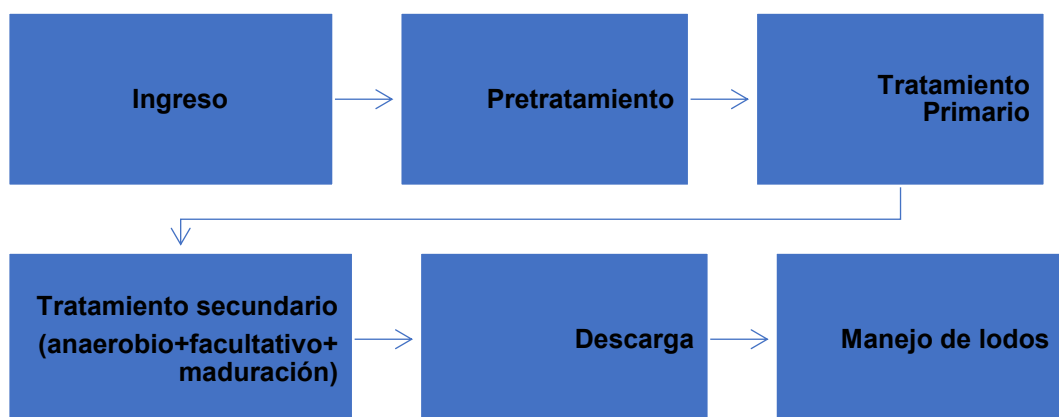


Figura 11

Secuencia del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Fuente: Elaboración propia en base a MINAM (2010) y RNE OS.090.

2.2.5. Consideraciones para el diseño de lagunas de oxidación

Las diversas recomendaciones en el diseño de las lagunas de oxidación se detallan en la Ta (Solorzano, 2021).

Tabla 1. Medidas y tiempos de retención recomendables de las lagunas de oxidación.

Autores	Tipo de lagunas	Profundidades (m)	Tiempo de retención (días)
Sandoval y Cisneros (2012)	Aerobias	1 - 1.5	20 - 30
Conagua (2007)		0.3 - 0.45	3 - 5
Jiménez (2001)		1 - 1.5	20 - 30
Cortes y Treviño (2017)	Anaerobias	3 - 5	2 - 5
Tilley et al. (2018)		2.5 - 5	2 - 5
Ortiz (2014)		4 - 5	2 - 5
Mercado (2013)	Facultativas	1.8 - 2	10 - 23
Ortiz (2014)		1.5 - 1.2	7 - 20
Cortes y Treviño (2017)		1.5 - 2.5	10 - 23
Mercado (2013)	Maduración	1 - 1.5	3 - 7
Quin et al. (1991)		0.9 - 1.5	3 - 10

Fuente: Solorzano (2021).

El dimensionamiento de las lagunas de estabilización en el tratamiento de aguas residuales depende directamente de parámetros hidráulicos y geométricos que aseguren condiciones adecuadas para la degradación biológica de la materia orgánica. La Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (sección 7.2-7.4) establece rangos de profundidad y tiempo de retención hidráulica específicos para cada tipo de laguna, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 2. Profundidades y tiempos de retención hidráulica recomendados para lagunas de estabilización.

Tipo de laguna	Profundidad (m)	Tiempo de retención (días)
Anaerobia	2.5 – 5.0	2 – 5
Facultativa	1.2 – 2.0	10 – 30
Maduración (pulimiento)	0.9 – 1.5	3 – 10

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica OS.090 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”, Secciones 7.2 a 7.4 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014).

No obstante, a continuación, se detalla las demás consideraciones matemáticas a tener en cuenta en cada uno de los diseños de las lagunas:

Para las lagunas de oxidación anaerobias

Según Malavé y Quillay (2019) para una laguna anaerobia, se tiene las siguientes fórmulas:

$$V_a = \frac{DBO_0(Q_d)}{C_{va}} \quad (1)$$

Donde:

V_a : representa al volumen de la laguna anaerobia expresada en m^3 .

DBO_0 : es la concentración inicial del DBO_5 en el afluente expresado en mg/l.

Q_d : es el caudal de diseño representado en $m^3/día$.

C_{va} : es la carga orgánica volumétrica de DBO_5 que para un periodo de retención hidráulica de 5 días esperando una eficiencia de 50 % de DBO es de 300 a 400 $grDBO_5/m^3$.

En cuanto al tiempo de retención hidráulica, se tiene:

$$T_r = \frac{V_a}{Q_d} \quad (2)$$

Donde:

T_r : es el tiempo de retención expresado en días.

V_a : es el volumen de la laguna anaeróbica representado en m^3 .

Q_d : es el caudal de diseño expresado en $m^3/día$.

Para las lagunas de oxidación facultativas

Según Malavé y Quillay (2019) el diseño de lagunas de oxidación facultativa se basa en la carga orgánica superficial de DBO_5 :

$$C_{sm\acute{a}x} = 250 (1.085)^{T-20} \quad (3)$$

Donde:

C_{sm} : representa a la carga superficial máxima de diseño expresada en kgDBO₅/ha.día.

T : Temperatura media mensual mínima de aire expresada en °C.

Consecuentemente, el área de este tipo de laguna se obtiene con:

$$A_f = \frac{10 (DBO_a)(Q_d)}{C_{sm\acute{a}x}} \quad (4)$$

Donde:

A_f : es el área de la laguna facultativa en m².

DBO_a : es la concentración del DBO₅ en el afluente en mg/l.

Q_d : es el caudal diseño en m³/día.

$C_{sm\acute{a}x}$: es la carga superficial máxima de DBO₅ (kg/ha-día).

Asimismo, el largo y ancho de la laguna se logra determinar con la siguiente fórmula:

$$X = \frac{L}{W} \text{ donde } W = \sqrt{\frac{A}{X}} \quad (5)$$

Donde:

X : representa a la relación del largo y ancho.

L : es el largo de la laguna expresada en metros.

W : es el ancho de la laguna expresado en metros.

A : es el área de laguna en metros cuadrados.

Del mismo modo, el tiempo de retención de la laguna facultativa es obtenida por:

$$T_r = \frac{V_f}{Q_d} \quad (6)$$

Donde:

T_r : es el tiempo de retención expresado en días, que puede ser de 5 a 30 días, con un mínimo de 10 días.

V_f : es el volumen de la laguna facultativa en m^3 .

Q_d : es el caudal de diseño en $m^3/día$.

Para las lagunas de maduración

Según Malavé y Quillay (2019) este tipo de lagunas debe contener con un tipo de retención hidráulica entre 5 a 7 días, esto para obtener una buena eficiencia de remoción, donde el área de esta se obtiene según:

$$A_m = \frac{Q_d(T_r)}{h} \quad (7)$$

Donde:

A_m : es el área de la laguna de maduración en m^2 .

Q_d : es el caudal de diseño en $m^3/día$.

T_r : es el tiempo de retención en días.

h : es la altura de la laguna en m.

En cuanto a la remoción del DBO_5 se aplica según:

$$C_{sr} = (0.765 \times C_{smáx}) - 0.80 \quad (8)$$

Donde:

C_{sr} : es la carga superficial removida en $kgDBO_5/ha.día$.

C_{sm} : es la carga superficial máxima de diseño en $kgDBO_5/ha.día$.

Mientras que, la remoción de los coliformes fecales son determinados en base a:

$$K_b = K_{20}(1.07)^{T-20} \quad (9)$$

$$K_b = 1.10 (1.07)^{T-20} \quad (10)$$

Donde:

K_b : es el coeficiente de mortalidad bacteriana neto, que se encuentra entre 0.8 a 1.6 para una temperatura de 20 °C, pudiéndose utilizar el valor de 1.

K_{20} : es el coeficiente de mortalidad bacteriana neto a 20 °C.

T : es la temperatura media mensual mínima del aire en °C.

En cuanto a la relación de largo/ancho es posible determinarlo en base a:

$$d = \frac{x}{-0.26118 + 0.25392x + 1.01368x^2} \quad (11)$$

Donde:

d : es el número de dispersión.

X : es la relación del largo y ancho de la laguna.

Asimismo, para determinar la concentración de coliformes fecales se determina según:

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{4ae^{(1-a)(2d)}}{(1+a)^2} \quad (12)$$

$$a = [1 + (4K_b T_r d)]^{1/2} \quad (13)$$

Donde:

a : es la constante de remoción de coliformes fecales.

N_e : es el número de coliformes fecales en el efluente (NMP/100 ml)

N_0 : es el número de coliformes fecales en el afluente (NMP/100 ml)

2.2.6. Ventajas y desventajas de las lagunas de oxidación

De acuerdo a Loaiza (2019) las principales ventajas de las lagunas de oxidación son la alta eficiencia, costos de construcción bajos, al igual que la operación y mantenimiento, reducen grandes cantidades de sobrecarga y no requieren de equipos mecánicos para su funcionamiento.

Mientras que, las desventajas son que para su implementación es necesario grandes extensiones de terreno, pueden generar malos olores y de encontrarse en épocas de frío puede reducirse la eficiencia (Loaiza, 2019).

2.2.7. Límites máximos permisibles y monitoreo de calidad

De acuerdo al Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010) en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se considera ciertos parámetros que deben cumplir los efluentes de las aguas residuales procedentes de plantas de tratamiento, según se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3. Límites máximos permisibles de efluentes procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Parámetro	Límites máximos permisibles
Aceites y grasas (mg/L)	20
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	10000
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100
Demanda química de oxígeno (mg/L)	200
pH	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión (mL/L)	150
Temperatura (°C)	< 35

Fuente: MINAM (2010).

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento menciona que los parámetros de los límites máximos permisibles deben ser monitoreados de acuerdo al caudal del afluente y efluente de la PTAR (SUNASS, 2022), el mismo que se encuentra

fundamentado en la Resolución Ministerial N° 273-2013-Vivienda, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4. Frecuencia de monitoreo de acuerdo al caudal de la PTAR.

Parámetro		Frecuencia del monitoreo del caudal de operación promedio anual			
Afluente	Efluente	< 10 L/s	> 10 a 100 L/s	> 100 a 300 L/s	> 300 L/s
Aceites y grasas (mg/L)		Anual	Semestral	Trimestral	Mensual
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)					
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)					
Demanda química de oxígeno (mg/L)					
pH (unidad)					
Sólidos totales en suspensión (mL/L)					
Temperatura (°C)					
Caudal (lectura horaria o más frecuente)		1 por trimestre	1 por trimestre	1 por mes	diaria

Fuente: SUNASS (2022).

Asimismo, las consideraciones de monitoreo en las lagunas de oxidación de acuerdo a lo establecido por la (SUNASS, 2022), se procede a detallar a continuación:

Tabla 5. Consideraciones de monitoreo en la PTAR.

	Parámetros	Frecuencia del monitoreo del caudal de operación promedio anual				Valor o rango
		< 10 L/s	> 10 a 100 L/s	> 100 a 300 L/s	> 300 L/s	
Afluente de la PTAR	Caudal promedio de 24 horas (L/s)	Trimestral	Mensual	Diario	Cada hora	
	Temperatura ambiental (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	
	Temperatura del agua (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	
	pH	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	
	Color del agua cruda	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	
	DBO ₅ (mg/L)	Anual	Semestral	Trimestral	Mensual	
	DQO (mg/L)	Anual	Semestral	Mensual	Cada 2 semanas	
Lagunas (sin aireación mecánica)	Color del agua de la laguna	Trimestral	Cada 2 meses	Semanal	Semanal	Verde
	Flotante en la superficie (% de la superficie)	Trimestral	Cada 2 meses	Semanal	Semanal	Libre

	Temperatura del efluente (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	-
	pH del efluente	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	6.7 - 7.5
	Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	> 0.5
Laguna aireada	Temperatura del efluente (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	-
	Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	> 0.5 - 2
Lodos activados (tanque de aireación)	Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Continuo	1 - 2
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Semanal	Semanal	3 - 5
	Volumen en lodos en probeta (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	-
	Índice de lodos (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	< 150
MBBR (tanque de aireación)	Temperatura del efluente (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	-
	Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Continuo	1 - 2
Filtro percolador	Uniformidad de carga	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Diario	-
	Temperatura del efluente (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	-
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Mensual	-
	Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	> 1
Efluente	Caudal promedio de 24 horas (L/s)	Trimestral	Mensual	Diario	Cada hora	-
	Temperatura del agua (°C)	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	-
	pH	Trimestral	Cada 2 meses	Mensual	Semanal	-
	DBO5 (mg/L)	Anual	Semestral	Trimestral	Mensual	-
	DQO (mg/L)	Anual	Semestral	Mensual	Cada 2 semanas	-
	Coliformes termotolerantes en caso de vertimiento a cuerpos naturales (NMP/100 ml)	Anual	Cada 4 meses	Cada 2 meses	Mensual	-
	Coliformes termotolerantes en caso de reúso autorizado (NMP/100 ml)	Semestral	Cada 2 meses	Mensual	Cada 2 semanas	-
	Huevos de helmintos, en casos de reúso autorizado (NMP/100 ml)	Semestral	Trimestral	Mensual	Mensual	-

Fuente: SUNASS (2022).

Cada uno de los parámetros señalados se proceden a describir en la siguiente figura:

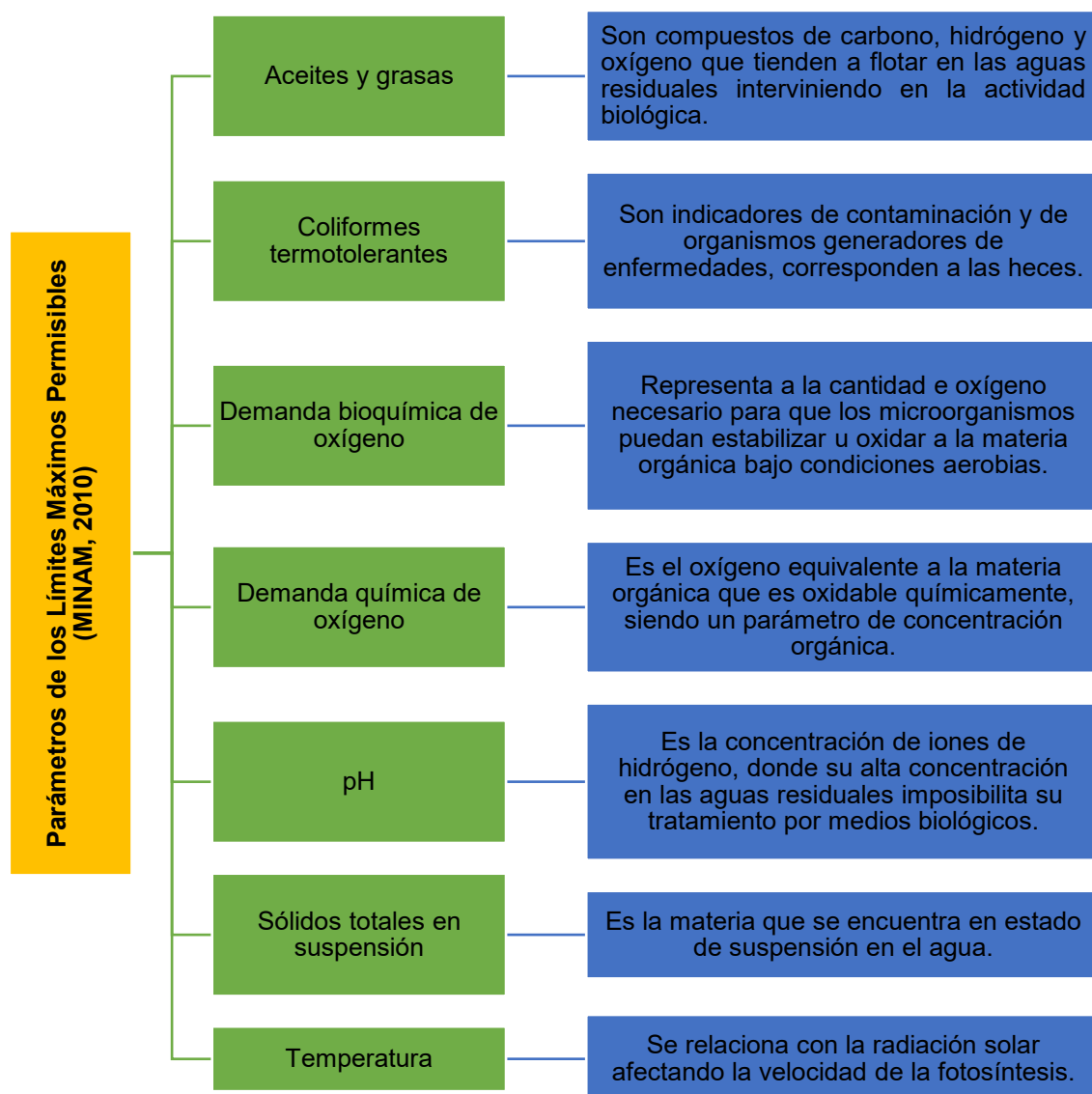


Figura 12. Descripción de los parámetros considerados en los LMP.

Fuente: En base a Mejía y Lino (2021).

2.2.8. Eficiencia de remoción en lagunas de oxidación

Según Malavé y Quillay (2019) la eficiencia de remoción se determina según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ efic. de remoción} = \frac{\text{Concent. de entrada} - \text{Concent. de salida}}{\text{Concent. de entrada}} \times 100 \quad (14)$$

Asimismo, Solorzano (2021) detalla los rangos de las eficiencias de las lagunas de oxidación, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 6. Eficiencias teóricas de las lagunas de oxidación.

Lagunas	Eficiencia en DBO (%)	Eficiencia en sólidos suspendidos (%)	Eficiencia en coliformes (%)
Anaerobias	70 - 90	50 - 60	60 - 99
Aerobias	80 - 95	20 - 60	60 - 99
Facultativas	70 - 85	50 - 70	60 - 99

Fuente: Solorzano (2021).

2.2.9. Operación y mantenimiento de lagunas de oxidación

La operación y mantenimiento (O&M) de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) constituye un componente esencial para asegurar la eficiencia hidráulica y biológica del sistema, así como el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental vigente. De acuerdo con lo señalado en la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM y las disposiciones de la SUNASS (RCPSS – Resolución N.° 058-2023-SUNASS-CD), las actividades de O&M deben desarrollarse de manera planificada, con frecuencias mínimas claramente definidas para cada unidad de tratamiento (rejas, desarenador, lagunas anaerobias, lagunas facultativas, estructuras de vertimiento, entre otras).

Estas acciones comprenden la limpieza rutinaria de estructuras, control de vegetación, inspección de taludes, batimetrías periódicas y remoción programada de lodos, las cuales permiten garantizar un adecuado tiempo de retención hidráulica, prevenir la pérdida de capacidad operativa, reducir la generación de olores molestos y proteger la calidad ambiental del cuerpo receptor. Asimismo, el cumplimiento de dichas frecuencias es obligatorio para las EPS, en el marco de las disposiciones regulatorias del sector saneamiento.

Según Mejía y Lino (2021) se tiene la operación y mantenimiento de acuerdo a distintas frecuencias, las cuales se proceden a detallar:

Tabla 7. Operación y mantenimiento de lagunas de oxidación.

Frecuencia	Actividades
Al inicio	Se debe iniciar con agua no servida de por lo menos 1 m, además de que la diferencia entre las alturas de las lagunas no sea mayor a 50 cm.
	Permitir que el agua servida ingresa a las lagunas.
	De encontrarse malos olores, debe suspenderse el ingreso del agua servida por lo menos 15 días.
	En cuanto al pH debe encontrarse entre 7 - 7.5
Durante el funcionamiento	Percatarse que el agua tenga coloración verde intenso y poco transparente.
	No debe existir olores desagradables.
	El pH debe ser mayor a 7.
	No debe encontrarse sólidos flotando en el agua.
	En cuanto al efluente debe tener una coloración clara verdosa.
	Control de la vegetación en los taludes y áreas vecinas.
De frecuencia diaria	No ingreso de personas extrañas.
	Regulación del caudal.
	Constatación de los niveles de agua.
	Inspección general del sistema.
	Anotación de datos relevantes del sistema.
De frecuencia semanal	Verificación de taludes a fin de evitar filtraciones.
	De presentarse filtraciones se debe resanar ello con arcilla.
De frecuencia mensual	Se debe mantener los taludes y áreas colindantes libres de hierbas u otros, procediendo a su retiro.
De frecuencia trimestral	Inspección de cercos, avisos de seguridad y el nivel de los lodos.
	Inspección de cunetas de lluvia.
De frecuencia semestral	Muestreo de la calidad del agua tanto a la entrada y a la salida de las lagunas.
De frecuencia cada 10 años	Medición de profundidad de lodos, para su retiro correspondiente.

Fuente: En base a Mejía y Lino (2021).

No obstante, la SUNASS (2022) menciona las siguientes actividades de operación y mantenimiento de las PTAR:

Tabla 8. Actividades mínimas y frecuencia de operación y mantenimiento en las PTAR según normativa nacional.

Unidad / Tecnología de tratamiento	Actividad	Frecuencia mínima
Rejas	Limpieza	2 veces por día
Desarenador	Limpieza	Semanal
Tanque Imhoff	Remoción de flotantes en la superficie del agua	Semanal
	Remoción de lodo de cámaras de digestión	≤ frecuencia del diseño, mínimo anual
Tanque séptico	Remoción de lodos	Anual
Anaerobias de las lagunas	Batimetría	* Anual * De contar con un historial de acumulación promedio del lodo de por lo menos 2 batimetrías, esta puede realizarse cada 2 años.
	Eliminación de la vegetación dentro de la laguna	Mensual
	Eliminación de la vegetación en taludes y en bordes con contacto con el agua	Mensual (salvo cuenta con revestimiento de geomembrana o losa u otro material)
	Remoción de lodos	* Remoción de lodo por dragado: el dragado se realiza cuando la altura promedio del lodo llegue a 1/3 de la profundidad de la laguna. * Remoción de lodo seco: la limpieza se realiza cuando la altura del lodo sobrepase el 50% del tirante de la laguna o supere el nivel de agua en 0,05 m en las zonas de ingreso y salida. * En caso no se configure alguno de los supuestos anteriores, la remoción de lodo se realiza cada 5 años
Lagunas facultativas primarias	Batimetría	* Cada dos años. * De contar con un historial de acumulación promedio del lodo de por lo menos 2 batimetrías, esta puede realizarse cada 3 años.
	Eliminación de vegetación dentro de la laguna	Mensual
	Eliminación de vegetación en taludes y en los bordes con contacto con el agua	Mensual (salvo cuenta con revestimiento de geomembrana o losa u otro material)

	Remoción de lodo	<p>* La limpieza se realiza en caso la altura del lodo sobrepase el 50% del tirante de la laguna o supere el nivel de agua en 0,05 m en las zonas de ingreso y salida.</p> <p>* En caso no se configure el supuesto anterior, la limpieza se realiza como máximo cada 10 años.</p>
Lagunas aireadas de mezcla parcial	Batimetría	<p>* Anual.</p> <p>* De contar con un historial de acumulación promedio del lodo de por lo menos 2 batimetrías, esta puede realizarse cada 2 años.</p>
	Remoción de lodo	<p>* Remoción de lodo por dragado: el dragado se realiza cuando la altura promedio del lodo llegue a 1/3 de la profundidad de la laguna.</p> <p>* Remoción de lodo seco: la limpieza se realiza cuando la altura promedio del lodo (batimetría) sobrepase el 50%.</p> <p>* En caso no se configure alguno de los supuestos anteriores, la remoción de lodo se realiza cada 5 años</p>
Lagunas aireadas, lodos activados, MBBR (con sedimentador secundario)	Mantenimiento (tales como: lubricación, cambio de aceite, filtros, sellos, glándulas, de ser el caso, etc.) a los equipos de aireación (aireadores, sopladores), barredor del sedimentador y otros equipos electromecánicos	Trimestral
Filtro percolador (con sedimentador secundario)	Mantenimiento del sistema de distribución del afluente (tales como lubricación, cambio de aceite, sellos y glándulas, limpieza, de ser el caso, etc.), barredor del sedimentador y otros equipos electromecánicos	Trimestral
Cloración	Verificación de que el equipamiento de seguridad esté completo y operativo	Mensual
Luz UV	Limpieza de las lámparas de luz UV	Mensual

Fuente: SUNASS (2023). *Reglamento de la Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento*, Resolución del Consejo Directivo N.º 058-2023-SUNASS-CD, Anexo 11.

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

A map of Peru showing its geographical location and major cities. The map includes labels for neighboring countries: Ecuador to the north, Colombia to the northeast, Brazil to the east, Bolivia to the southeast, and Chile to the south. The Pacific Ocean (Oceano Pacifico) is to the west. Major cities marked with red dots include Tumbes, Piura, Chiclayo, Trujillo, La Libertad, Ancash, Huanuco, Pasco, Junin, Huancayo, Lima (the capital, marked with a red circle), Ica, Arequipa, Cusco, Madre de Dios, Puno, Tacna, and Iquitos. A blue line represents the Amazon River, flowing from the north and curving around the northern coast. The region of Tumbes is highlighted in red, and the region of Puno is highlighted in blue.

Mapa de las provincias de la zona de la Amazonia peruana. Las provincias mostradas son: Santa Rosa (verde), Bellavista (naranja), Las Pirias (verde claro), Chontali (amarillo), San José del Alto (naranja claro), Sallique (azul claro), San Felipe (púrpura), Pomahuaca (azul), Colasay (amarillo claro), Jaen (lila) y Pucara (rojo). Dos flechas azules indican la ubicación de las provincias de Chontali y Jaen.

33

3.1.1. Aspecto físico – geográfico

Geología

La ciudad de Jaén está rodeada de afloramientos rocosos compuestos por areniscas, lutitas y conglomerados de color pardo rojizo, que probablemente pertenecen a la formación Bellavista. Estos afloramientos se encuentran en la margen derecha del valle de Jaén, desde la fila alta hasta la confluencia con la ciudad de Bellavista y el río Marañón, y se atribuyen al tercio superior de la Era Cenozoica.

En el sector de Magllanal, en la margen izquierda de la quebrada Jaén, afloran rocas volcánicas de origen ígneo extrusivo, compuestas por lavas ácidas consolidadas con derrames piroclásticos. Estas rocas incluyen andesitas, dacitas, riocitas y riolitas, con colores que varían de grises a verdosos. También se observan afloramientos riocíticos intercalados con lutitas y areniscas sacaroides de color blanco rojizo, así como la presencia de estas formaciones en la parte alta de Magllanal.

La edad de estos afloramientos rocosos de origen volcánico se atribuye probablemente a la formación Calipuy, que abarca desde el Terciario Superior hasta el Terciario Medio de la Era Cenozoica. Por lo tanto, las características de las rocas subsuperficiales de la Ciudad de Jaén corresponden a las formaciones Calipuy, Bellavista y Tamborapa.

Geomorfología

La característica morfológica principal de la zona es de origen fluvial, resultado de los flujos hídricos gravitacionales que discurren sobre fracturas preexistentes y fallas geológicas regionales, como las fallas Noroeste-Suroeste y las fallas transversales Este-Oeste. Un ejemplo es la quebrada Jaén y otras quebradas de orientación paralela ubicadas en las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental. Estos cursos de agua han depositado sedimentos aluviales y fluviales en el área donde se encuentra la ciudad de Jaén.

La ciudad cuenta con tres terrazas que conforman los suelos del valle de Jaén. La primera está ubicada al sur de la ciudad (Fila Alta,

Monte grande, San Isidro), la segunda al suroeste (Fila Alta y otras áreas en los límites de Santa Teresita), y la tercera terraza aluvial está compuesta por suelos aluviales y fluviales. Estos suelos contienen bloques de roca con diámetros entre 1.5 y 0.2 metros, incorporados en una matriz de grava, gravilla y arena limoarcillosa. Estos depósitos se presentan como conos de deyección con dirección de oeste a este, que luego cambian hacia el norte para convertirse en afluentes del río Marañón.

Topografía

La ciudad de Jaén y sus alrededores tienen un relieve irregular, con altitudes que varían entre los 600 y 700 metros sobre el nivel del mar. Está rodeada por zonas agrícolas, con elevaciones más altas en el sector oeste y más bajas en el sector este. Esta área representa la parte más baja del área urbana de la ciudad.

La zona en estudio presenta una topografía de pendientes suaves, ideal para la colocación de una laguna de oxidación, presenta una inclinación menor al 5 %, facilitando un flujo de agua controlado y minimizando la erosión del suelo. El terreno es poroso y bien drenado, comúnmente compuesto de suelos arenosos o limosos, lo que permite una filtración natural efectiva. La vegetación es típica de áreas de transición entre llanuras y colinas suaves, con pastizales y arbustos bajos, que no interfieren con la construcción y operación de la laguna.

Además, esta zona es fácilmente accesible, con vías de acceso sin pendientes pronunciadas, y se encuentra en áreas rurales o periurbanas con baja densidad de población, minimizando el impacto ambiental y social. Este tipo de área combina una construcción sencilla y un mantenimiento eficiente, utilizando la gravedad para el flujo de agua dentro de la laguna y reduciendo la necesidad de bombeo mecánico.

Hidrología

En el área de influencia de la provincia de Jaén, se cuenta datos hidrometeorológicos de cuarenta y cinco estaciones, sin embargo, la

principal la estación está ubicada en el distrito de Jaén a 654 metros sobre el nivel del mar, dentro de la cuenca de la Quebrada Jaén.

Según el Mapa de Peligros elaborado por el Equipo Técnico de INDECI en abril de 2005, las precipitaciones varían a lo largo del año. Son mínimas durante los meses de junio a septiembre y aumentan entre enero y abril, alcanzando su punto máximo en marzo.

Entre 1970 y 1990, la precipitación total anual varió entre 333.2 mm y 1051 mm, con un promedio anual de 760.25 mm. En la ciudad de Jaén, los mayores promedios de precipitación en 24 horas se registraron en los meses de octubre, así como entre febrero y mayo. Por ejemplo, durante los años 1995 a 2003, se registró un máximo de 88.0 mm en 24 horas.

Clima

Según las características topográficas, la ciudad de Jaén presenta elevaciones con altitudes inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar, clasificada con un clima semihúmedo a macro termal y una vegetación de tipo pradera y tropical.

Según datos de la estación climatológica Jaén, la temperatura mínima mensual varía entre 17.2 °C y 20.2 °C, mientras que la temperatura máxima oscila entre 30.8 °C y 34.2 °C. El promedio mensual de temperatura fluctúa entre 24.7 °C y 26.8 °C, con una temperatura media anual de 25.9 °C.

La evaporación total mensual registrada por la misma estación fluctúa entre 67.61 mm y 114.81 mm, con un promedio anual que varía entre 63.84 mm y 112.93 mm.

La humedad relativa mensual varía entre el 69 % y el 77 %, con los valores más altos registrados entre marzo y julio. El promedio anual de humedad relativa es del 74 %.

3.1.2. Información urbanística de Jaén

El Distrito de Jaén tenía una población total de 4988 habitantes en 1940, de los cuales 1020 vivían en la ciudad de Jaén. Para 1961, se observó un rápido y constante crecimiento poblacional. Según el VI

Censo de Población y I de Vivienda realizado por el INEI ese año, la ciudad alcanzó una población de 4420 habitantes.

En 1972, el VII Censo de Población y II de Vivienda del INEI reportó un total de 13718 habitantes, lo que representa un crecimiento de la población al triple en once años, con una alta tasa de crecimiento anual del 10.9 % en el período 1961 - 1972. Para 1981, la población de la ciudad llegó a 21201 habitantes, con una superficie urbana promedio de 247.17 hectáreas. Y para el año 1993, la ciudad de Jaén registro 45929 habitantes alcanzando una alta tasa de crecimiento de 6.7 %.

Según el último Censo Nacional de 2007, el XI Censo de Población y VI de Vivienda, la Ciudad de Jaén tenía una población de 71565 habitantes. Esto refleja una tasa de crecimiento intercensal del 3.22 % entre 1993 y 2007, sostenida principalmente por las actividades comerciales y de servicios.

En el año del estudio (2013), se estimó una población de 89030 habitantes, basándose en las proyecciones del INEI. La ciudad ocupaba una superficie urbana de 896.76 hectáreas, duplicando su extensión física en los últimos 20 años. Jaén continuó siendo un centro de desarrollo para todo el Nor Oriente peruano.

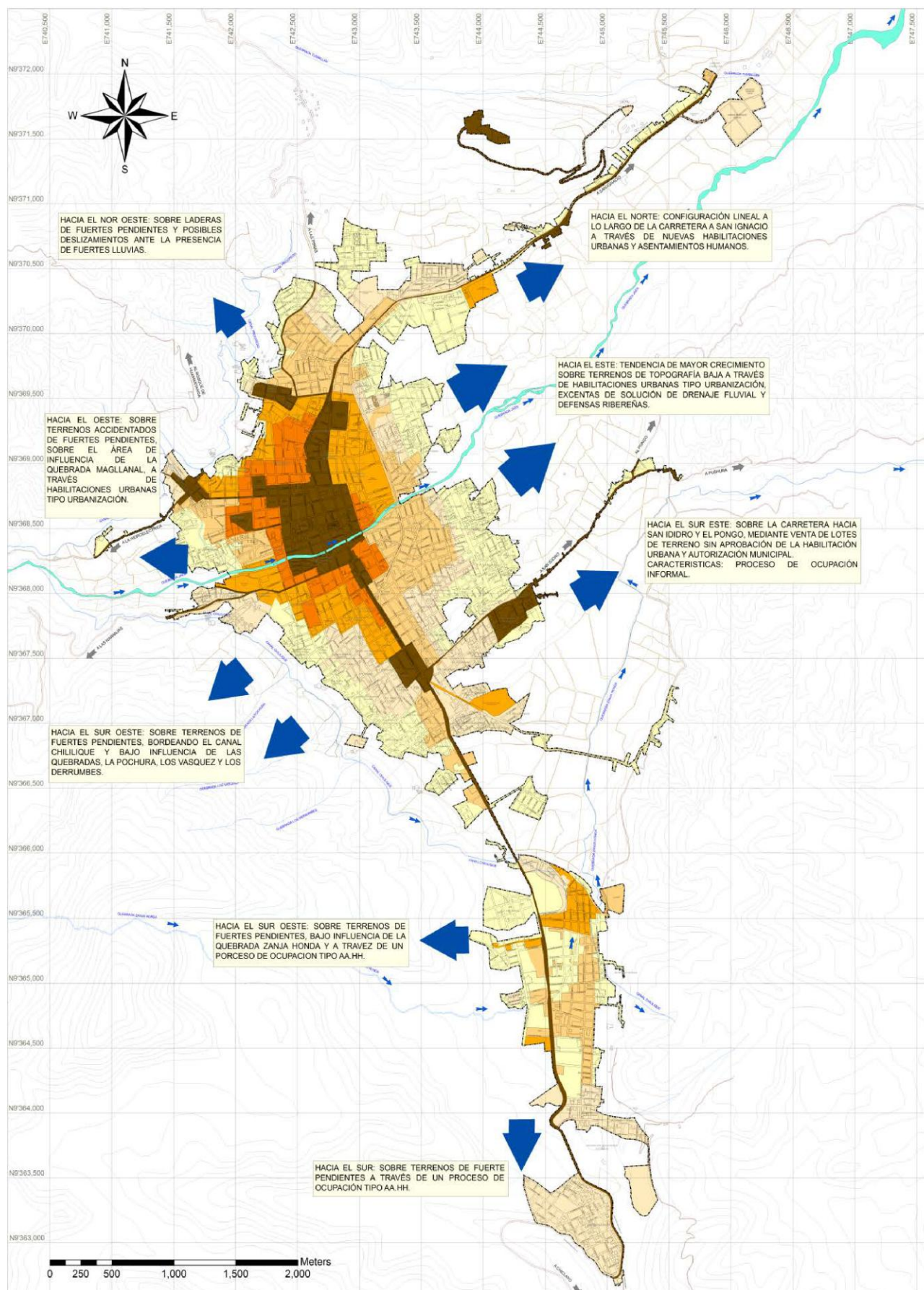


Figura 17. Tendencia de crecimiento poblacional de la ciudad de Jaén.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio correspondió al aplicado, porque se dio solución a una problemática real que aqueja a la población del distrito de Jaén en cuanto al sistema de tratamiento de aguas residuales, pues no cumple con las características técnicas que asegure la calidad del agua tratada.

3.2.2. Diseño de estudio

El diseño de estudio fue no experimental, porque no se manipuló las variables de estudio; es decir, que se evaluará tal como se encuentra en la realidad. Asimismo, el diseño tendrá un corte transversal, es decir que la toma de datos se realizará en un solo momento.

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y de tipo descriptivo, ya que se analizó la información sin manipular las variables. El procedimiento de la investigación se inició con la revisión documental y recopilación de información técnica sobre la PTAR de Jaén, incluyendo planos, informes operativos y registros de monitoreo. Posteriormente, se organizaron los datos de calidad del agua correspondientes a los meses evaluados (febrero, abril, junio y agosto), y se procesaron los valores de parámetros como DBO₅, DQO, SST, pH y coliformes termotolerantes.

Con esta información se calculó la eficiencia de remoción de cada parámetro, y se compararon los resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM. Finalmente, se interpretaron los resultados para elaborar conclusiones y recomendaciones técnicas orientadas a mejorar el desempeño de la planta y minimizar la afectación del recurso hídrico del cuerpo receptor.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población correspondió a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Jaén, provincia de Jaén en la región Cajamarca.

3.3.2. Muestra

La muestra fue la totalidad de la población; es decir, la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Jaén, provincia de Jaén en la región Cajamarca.

3.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue toda la planta de tratamiento de aguas residuales conformada por lagunas de oxidación.

3.3.4. Unidad de observación

Las unidades de observación corresponden a las muestras de agua recolectadas en los puntos de ingreso (afluente) y salida (efluente) de la planta, en las cuales se determinaron parámetros como DBO_5 , DQO, SST, pH y coliformes termotolerantes.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos correspondieron a:

Observación directa. Esta técnica se aplicó para evaluar los parámetros del afluente y efluente de la PTAR, mediante la recolección de muestras de agua en puntos estratégicos de ingreso y descarga, así como la observación directa de las diferentes unidades de tratamiento. El proceso de campo se apoyó en fichas de evaluación y control, registros fotográficos y notas técnicas, lo que permitió documentar con mayor detalle las condiciones físicas y operativas de la planta. Asimismo, se complementó con la revisión bibliográfica de investigaciones previas y con el análisis de planos y detalles técnicos de la infraestructura de la PTAR. Estos insumos integrados resultaron fundamentales para la interpretación de los resultados y el análisis de la eficiencia del sistema, asegurando una visión más completa y objetiva del desempeño de la planta.

Revisión Documentaria. Esto para la recolección de información concerniente a las características de la planta de tratamiento de aguas residuales, las actividades de operación y mantenimiento, además de la frecuencia de las mismas.

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

El método de análisis de datos que se empleó se fundamentó en la estadística descriptiva, lo cual permitió trasladar datos cuantitativos al programa Microsoft Excel, que mediante tablas y figuras fue dable su interpretación, además de la contrastación con las normativas del MINAM y la SUNASS.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1.1. Características de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén

Para la caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales fueron tomados en cuenta cuatro aspectos fundamentales los cuales se detallan a continuación:

Etapas del tratamiento

De manera simplificada, se puede explicar el tratamiento de las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales de Jaén considerando las siguientes etapas:

a) Tratamiento preliminar

- Cribado: El agua residual primero pasa por rejas o tamices para eliminar los sólidos grandes, como ramas, trapos, plásticos, y otros desechos voluminosos.
- Desarenado: Se eliminan las partículas pesadas, como arena y grava, que podrían dañar las bombas y otros equipos.

b) Tratamiento primario:

El agua residual se conduce a una laguna anaerobia, donde se da una descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso es llevado a cabo por bacterias anaerobias que descomponen la materia orgánica y generan biogás (principalmente metano y dióxido de carbono). Las lagunas anaerobias son efectivas en la reducción de la demanda de oxígeno y sólidos suspendidos.

c) Tratamiento secundario:

El agua pasa de la laguna anaerobia a una laguna facultativa, donde ocurre un proceso de tratamiento adicional. En esta etapa, la laguna tiene tres zonas: una zona anaerobia en el fondo, una zona facultativa en el medio y una zona aerobia en la superficie. Las bacterias

aeróbicas y anaeróbicas trabajan juntas para descomponer la materia orgánica restante. La zona superficial, donde hay oxígeno disponible, facilita la acción de las algas que generan oxígeno, ayudando a la depuración del agua.

d) Disposición del efluente

Finalmente, el agua tratada, ahora de mejor calidad, es vertida en un cuerpo receptor, siendo en el caso de esta PTAR canales encausados para riego.

e) Manejo de lodos

Extracción de lodos: Los sólidos acumulados en el fondo de las lagunas anaerobias y facultativas son removidos periódicamente. Siendo utilizados como abono o dispuestos adecuadamente.

Características de lagunas

La planta de tratamiento consta en total de seis (06) lagunas, las cuales se dividen en tres (03) lagunas facultativas y tres (03) lagunas anaerobias. Seguidamente, se presentan las características de cada una de ellas:

a) Laguna facultativa LF-01:

- Largo: La laguna LF-01 tiene un largo aproximado de 164.24 metros, asimismo, el largo del espejo de agua es de 155.02 metros, y el largo en el fondo de la laguna alcanza los 146.39 metros.
- Ancho: Esta laguna tiene un ancho aproximado igual a los 121.20 metros, teniendo un ancho de espejo de agua de 118.68 metros y un ancho en el fondo de 110.04 metros.
- Profundidad: La profundidad de la laguna facultativa LF-01 considerando la cota del espejo de agua menos la cota de fondo es de 2.16 metros.
- Área: La laguna LF-01 presenta un área de 19893.47 m², el espejo de agua alcanza los 18396.66 m², y un área en el fondo de 16134.95 m².

- Taludes internos: Los taludes internos con los que fue construida la laguna facultativa LF-01 fueron de una relación H:V de 2:1.

b) Laguna facultativa LF-02:

- Largo: El largo aproximado de la laguna LF-02 es de 164.87 metros, para el espejo de agua llega a los 155.71 metros y para el fondo de 147.04 metros.
- Ancho: De igual manera, el ancho de la laguna llega a los 120.84 metros, el ancho del espejo de agua a los 118.31 metros y el ancho del fondo de 109.67 metros.
- Profundidad: La profundidad es esta laguna entre el fondo y el espejo de agua es de 2 metros.
- Área: La laguna LF-02 tiene un área de 19992.016 m², el espejo de agua por su parte alcanza los 18478.83 m² y el fondo llega a los 16221.90 m².
- Taludes internos: Al igual que con la laguna LF-02, en este caso los taludes también son de una relación H:V igual a 2:1.

c) Laguna facultativa LF-03:

- Largo: El largo aproximado de la laguna facultativa LF-03 alcanza los 164.81 metros, mientras que el espejo de agua llega a los 163.01 metros y el fondo a los 164.81 metros.
- Ancho: El ancho de la laguna tiene un aproximado de 131.70 metros, el espejo de agua alcanza a los 130.17 metros y el fondo a 125.34 metros.
- Profundidad: La distancia entre el fondo y el espejo de agua según el diseño es de 2.52 metros.
- Área: Es necesario mencionar que esta laguna presenta una geometría sumamente irregular, conformando un área de 19394.40 m², teniendo 18627.03 m² de espejo de agua y 16591.68 m² de fondo.

- Taludes internos: Para la laguna LF-03 el talud construido conformó una relación H:V de 1.5 a 1.

d) Laguna anaerobia LA-01:

- Largo: El largo aproximado de la laguna anaerobia LA-01 es de 121.16 metros, asimismo, el espejo de agua llega a los 117.16 metros y el fondo a los 103.18 metros.
- Ancho: Seguidamente, el ancho de la laguna es de 95.64 metros, el ancho del espejo de agua aproximado es de 91.65 metros y para el fondo este parámetro alcanza un aproximado de 77.68 metros.
- Profundidad: La laguna anaerobia LA-01 presenta una profundidad de 3.44 metros.
- Área: Esta laguna presenta un área igual a los 11533.16 m², el espejo de agua registra un área de 10703.81 m², y el fondo de esta laguna llega apenas a 8011.02 m².
- Taludes internos: Los taludes de esta laguna tienen la misma relación que la presente en las lagunas LF-01 y LF-02, siendo de H:V de 2 a 1.

e) Laguna anaerobia LA-02:

- Largo: Siendo una laguna con bastante irregularidad geométrica, alcanza un largo mayor de 120.41 m y un largo menor de 55.72 m, para el espejo de agua estas medidas son 116.65 y 52.54 m respectivamente y para el fondo llegan a ser de 102.36 y 41.46 m para cada respectivo en aproximación.
- Ancho: Para el caso del ancho de la laguna LA-02 esta medida alcanza los 94.64 metros, el espejo de agua los 90.67 metros y el fondo los 76.71 metros.
- Profundidad: La profundidad considerando la diferencia de cotas entre el espejo de agua y el fondo da 3.5 metros.

- Área: Esta laguna abarca una superficie 8913.42 m², el espejo de agua llegando a 8167.02 m² y el fondo de la laguna a cubrir 5762.19 m².
- Taludes internos: Para esta estructura, los taludes que la rodean tienen una relación H:V de 2:1.

f) Laguna anaerobia LA-03:

- Largo: Siendo también irregular, tiene un largo aproximado de 101.85 m, el espejo de agua alcanza los 98.59 m de largo y el fondo los 86.41 m.
- Ancho: Seguidamente, las medidas del ancho de la laguna, el espejo de agua y el fondo son de 85.47, 81.82 y 68.39 metros.
- Profundidad: Esta laguna registra una profundidad de 4.02 metros, calculados del espejo de agua al fondo.
- Área: La laguna anaerobia LA-03 cubre una superficie de 6953.76 m², siendo la más pequeña de la PTAR, así también, el espejo de agua de esta laguna llega a los 6334.52 m² y el fondo a los 4493.24 m².
- Taludes internos: Por último, el talud de esta laguna presenta una relación H:V de 1.5 a 1.

Caudal de ingreso

El caudal de ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales es registrado diariamente, con el propósito de controlar los cambios de este parámetro y prever acciones de contingencia en caso sea necesario. Para este fin, la empresa encargada toma en cuenta el ingreso tanto de la planta antigua como de la planta nueva.

Considerando esto, se presenta la Tabla , la cual cuenta con los valores del caudal diario registrado tanto para la planta de tratamiento de aguas residuales antigua como para la planta de tratamiento de aguas residuales nueva, considerando también el total mensual y promedio diario, que para el caso de la PTAR antigua llegan a los 1369.42 y 44.17

L/s respectivamente, mientras que para la PTAR moderna llegan a los 15402.84 y 496.87 L/s para cada caso respectivo.

Tabla 9. Caudal de trabajo de la PTAR de mayo del 2024.

Día	PTAR antigua		PTAR nueva	
	Altura	Caudal (L/s)	Altura	Caudal (L/s)
1	0.50	69.02	0.60	484.41
2	0.40	49.04	0.80	754.04
3	0.30	31.57	0.70	614.03
4	0.50	69.02	0.60	484.41
5	0.35	39.98	0.70	614.03
6	0.25	23.88	0.60	484.41
7	0.40	49.04	0.60	484.41
8	0.40	49.04	0.60	484.41
9	0.30	31.57	0.70	614.03
10	0.50	69.02	0.60	484.41
11	0.40	49.04	0.70	614.03
12	0.35	39.98	0.50	365.94
13	0.30	31.57	0.80	754.04
14	0.40	49.04	0.50	365.94
15	0.35	39.98	0.60	484.41
16	0.40	49.04	0.70	614.03
17	0.30	31.57	0.75	682.78
18	0.25	23.88	0.50	365.94
19	0.40	49.04	0.60	484.41
20	0.35	39.98	0.70	614.03
21	0.50	69.02	0.70	614.03
22	0.40	49.04	0.80	754.04
23	0.35	39.98	0.70	614.03
24	0.25	23.88	0.40	259.62
25	0.30	31.57	0.50	365.94
26	0.40	49.04	0.35	211.42
27	0.25	23.88	0.40	259.62
28	0.40	49.04	0.60	484.41
29	0.40	49.04	0.50	365.94
30	0.30	31.57	0.40	259.62
31	0.50	69.02	0.50	365.94
Total mensual		1369.42	-	15402.84
Promedio diario		44.17		496.87

Fuente: EPS Jaén (2024).

Tiempo de retención hidráulica

Para el caso de la PTAR que presta servicio a la localidad de Jaén y en consideración de lo expuesto respecto a las características de las lagunas y el caudal de ingreso, el tiempo de retención hidráulica suele

cumplir con el tiempo mínimo de retención recomendado de 10 días, esto debido a que el volumen de trabajo de la PTAR, al menos durante el mes de mayo, es suficiente para satisfacer la demanda de la población de Jaén.

Verificación de las dimensiones de la PTAR

En base al caudal total de 541.04 L/s se procedió a determinar cuánta es la población que está siendo abastecida por esta PTAR, asimismo, se consideró una dotación de 250 L/hab.día para clima templado y cálido según la OS 100 del Reglamento Nacional de Edificaciones, para ello se optó por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación} \times 80 \%}{86400} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} 541.04 &= \frac{\text{Población} \times 250 \times 80 \%}{86400} \rightarrow \text{Población} = \frac{541.04 \times 86,400}{250 \times 80 \%} \\ &= 233,729.28 \equiv 233,730 \end{aligned}$$

De acuerdo a lo detallado se puede inferir que la población que está siendo abastecida por la PTAR es de 233730 habitantes, no obstante, considerando un periodo de por lo menos 20 años con una tasa de crecimiento poblacional de 0.1 % anual según el Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III DE Comunidades Indígenas, se tendría una población futura de:

$$P = 233,730 \times (1 + 0.1 \%)^{20} = 238,449.28 \equiv 238,450$$

De acuerdo a lo señalado se consideró para las lagunas anaerobias, las siguientes características:

Tabla 10. Parámetros obtenidos para el diseño de las lagunas anaerobias.

Parámetro	Valor
Población de diseño	238450 Habitantes
Dotación	250 lt/hab/día
Desagüe	80 %
DBO ₅ del afluente	396.90 mg/L
DBO ₅ per cápita	0.33 grDBO/hab/día
Temperatura del agua en el mes más frío	20 °C
Caudal residual (Q):	47690 m ³ /día
Condición de la temperatura	21 °C
Carga orgánica:	79.38 kg.DBO/día
Periodo de limpieza:	1 años
Tasa de acumulación de lodos:	60 L/año
K20:	1 /día

Fuente: Elaboración propia (2024).

Así se encontró que, la carga superficial de diseño es todos los casos de 262.50 Kg.DBO₅/ha.día, siendo necesario así un área de:

$$A_{requerido} = \frac{Carga\ orgánica}{Carga\ volumétrica} \quad (16)$$

$$A_{requerido} = \frac{79.38\ kg.\ DBO/día}{262.50\ kg.\ DBO/día} = 0.30\ ha \equiv 3,024\ m^2$$

Lo que se traduciría que el área mínima a la mitad de cada laguna anaerobia sería de 1,008.00 m², por consiguiente tiene la comparación en la **Tabla** , demostrándose que el área de las lagunas sí cumple con lo mínimo requerido.

Tabla 11. Comparación de las áreas de las lagunas anaerobias.

	Área mínima (m ²)	Área existente (m ²)	¿Cumple?	Población Proyectada
Laguna anaerobia existente LA-01	1008.00	8,011.02	Sí	143,070
Laguna anaerobia existente LA-02	1008.00	5,762.19	Sí	143,070
Laguna anaerobia ejecutada LA-03	1008.00	4,493.24	Sí	143,070

Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a la producción de lodos se tiene que la producción total de lodos es de 14307.00 m³, esto considerando la población proyectada, la tasa de acumulación de lodos de 60 L/año y el periodo mínimo de limpieza de 1 año, asimismo, se tendría que el volumen de lodos por cada laguna anaerobia sería de 4769.00 m³. En cuanto al área de lodos, está será igual al área de fondo de cada laguna, entonces se encontró que la altura de lodos por laguna anaerobia es de: para la laguna anaerobia 1 de 0.60 m, para la laguna anaerobia 2 de 0.80 m y para la laguna anaerobia 3 de 1.10 m.

Por último, se tiene, el DBO₅ de salida según:

$$DBO \text{ último de salida} = \frac{DBO \text{ último entrada}}{1 + K'1} \quad (17)$$

$$DBO \text{ último de salida} = \frac{396.9 \text{ mg/L}}{1 + 1(1.05)^{21-20}} = 193.61 \text{ mg/L}$$

Como se muestra el DBO de salida de las lagunas anaerobias sería de 193.61 mg/L, valor superior a los LMP para efluentes de PTAR, por consiguiente, sí es necesario contar con las lagunas facultativas.

En cuanto al diseño de las lagunas facultativas, se consideró los siguientes datos:

Tabla 12. Parámetros para el diseño de las lagunas facultativas.

Parámetro	Valor	
Población de diseño	238450	Habitantes
Dotación	250	lt/hab/día
Desagüe	80	%
DBO ₅ del afluente	193.61	mg/L
DBO ₅ per cápita	0.16	grDBO/hab/día
Temperatura del agua en el mes más frío	20	°C
Caudal residual (Q):	47690	m ³ /día
Condición de la temperatura	21	°C
Carga orgánica:	38.72	kg.DBO/día
Periodo de limpieza:	1	años
Tasa de acumulación de lodos:	60	L/año
K ₂₀ :	1	/día

Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a la carga superficial, este es de 262.50 Kg.DBO₅/ha.día, siendo necesario así un área de:

$$A_{requerido} = \frac{Carga\ orgánica}{Carga\ volumétrica} \quad (18)$$

$$A_{requerido} = \frac{38.72\ kg.DBO/día}{262.50\ kg.DBO/día} = 0.15\ ha \equiv 3024\ m^2$$

Lo que se traduciría que el área mínima a la mitad de cada laguna facultativa sería de 491.71 m², por consiguiente, tiene la comparación en la tabla 13, demostrándose que el área de las lagunas sí cumple con lo mínimo requerido.

Tabla 13. Comparación de las áreas de las lagunas facultativas.

	Área mínima (m ²)	Área existente (m ²)	¿Cumple?	Población Proyectada
Laguna facultativa existente LF-01	491.71	16,134.95	Sí	143,070
Laguna facultativa existente LF-02	491.71	16,221.9	Sí	143,070
Laguna facultativa ejecutada LF-03	491.71	16,591.68	Sí	143,070

Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a la producción de lodos se tiene que la producción total de lodos es de 14307.00 m³, esto considerado la población proyectada, la tasa de acumulación de lodos de 60 L/año y el periodo mínimo de limpieza de 1 año, asimismo, se tendría que el volumen de lodos por cada laguna facultativa sería de 4769.00 m³. En cuanto al área de lodos, está será igual al área de fondo de cada laguna, entonces se encontró que la altura de lodos por laguna facultativa es de: para la laguna facultativa 1 de 0.90 m, para la laguna facultativa 2 de 0.90 m y para la laguna facultativa 3 de 0.9 m.

Por último, se tiene, el DBO₅ de salida según:

$$DBO\ \acute{u}ltimo\ de\ salida = \frac{DBO\ \acute{u}ltimo\ entrada}{1 + K'1} \quad (19)$$

$$DBo \text{ último de salida} = \frac{193.61 \text{ mg/L}}{1 + 1(1.05)^{21-20}} = 94.44 \text{ mg/L}$$

Como se muestra el DBO de salida de las lagunas facultativas sería de 94.44 mg/L, valor inferior a los LMP para efluentes de PTAR que es de 100 mg/L, por consiguiente, se puede inferir que, las dimensiones de las lagunas, tanto anaerobias y facultativas sí son las correctas, más por el contrario se podría decir que se encuentran sobre dimensionadas, no obstante, el principal problema sería el retiro de los lodos, lo cual perjudica su capacidad de remoción.

4.1.2. Características de las aguas residuales de la ciudad de Jaén.

Fueron determinadas las características de las aguas residuales de la ciudad de Jaén. Llegando a la obtención de los resultados presentados en la tabla expuesta a continuación:

Tabla 14. Características de las aguas residuales que llegan a la PTAR.

Mes	Demanda química de oxígeno (ppmO ₂)	Demanda bioquímica de oxígeno - 5 (ppmO ₂)	Potencial de iones de hidrógeno [pH]	Temperatura (°C)	Sólidos totales suspendidos (ppmSTS)	Coliformes termotolerantes a 44.5 °C (NMP/100 ml)
Diciembre	611.20	320.40	6.60	21.50	82.00	< 1600
Febrero	620.20	330.30	6.70	21.00	89.00	< 1600
Junio	905.20	501.40	7.10	26.50	103.00	< 1600
Agosto	821.64	435.50	6.92	26.00	99.00	< 1600
Desviación estándar	147.08	86.98	0.22	2.90	9.54	0.00
Promedio	739.56	396.90	6.83	23.75	93.25	< 1600

Fuente: Elaboración propia (2024).

La tabla adjunta, expone las características del afluente de agua que llega a la PTAR en dos épocas distintas del año, siendo los resultados de las muestras de diciembre y febrero los correspondiente a la época de altas precipitaciones mientras que, los de los meses de junio y agosto los correspondientes a la época de estiaje. Esto permite notar que la calidad del agua también puede variar en función de la época del año.

No obstante, para los fines de esta investigación correspondiente a las características del agua que entra y sale del PTAR, lo fundamental es la caracterización promedio, pues es indispensable el reconocimiento de las características del agua con las que suele trabajar la planta.

Con esta consideración, se presenta la Figura 18, la cual contiene los resultados de los análisis de la demanda química de oxígeno (cuyo promedio es de 739.56 ppmO₂) que tiene el afluente. Aquí destaca el mes de junio con el valor máximo con 905.2 ppmO₂, así como también el mes de diciembre con 611.2 ppmO₂.

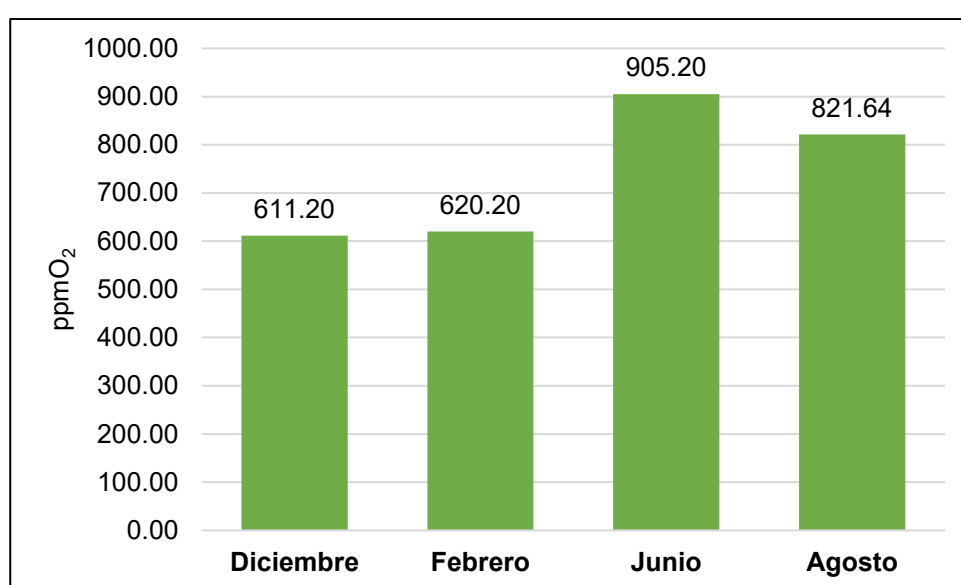


Figura 18
Demanda química de oxígeno del afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Figura 19, exhibe los resultados de los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (con un promedio de 396.9 ppmO₂) que tiene el afluente. Aquí destaca el mes de junio con el valor máximo de 501.4 ppmO₂ y el mes de diciembre con el valor mínimo de 320.4 ppmO₂.

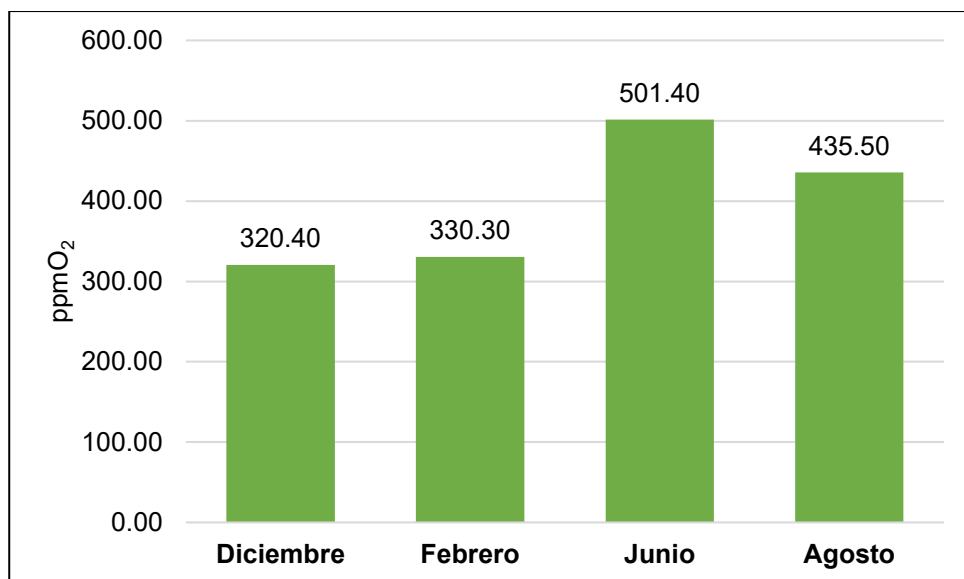


Figura 19

Demanda bioquímica de oxígeno del afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Seguidamente, se presenta el potencial de iones de hidrógeno (pH), cuyo promedio en el afluente es de 6.83. La Figura 20, expone que el menor valor de este parámetro se registra en las muestras de diciembre con un valor de 6.6, siendo su contraparte lo detectado en el mes de junio con un valor de 7.1.

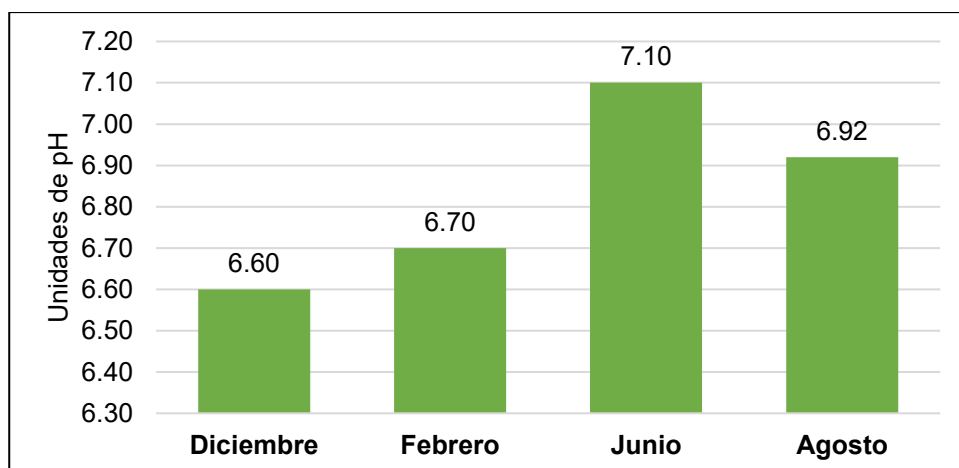


Figura 20

Potencial de iones de hidrógeno del afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Así también, fue registrada la temperatura del agua del afluente, cuyo promedio al llegar a la PTAR es igual a los 23.75 °C.

La Figura 21, exhibe estos resultados donde resalta la temperatura mínima de 21 °C correspondiente al mes de febrero y la temperatura máxima de 26.5 °C correspondiente al mes de junio, de esta manera, se constata que el afluente en diciembre y febrero corresponde a una época más fría con más precipitaciones, mientras que junio y agosto, con mayores temperaturas, corresponden a la época de estiaje.

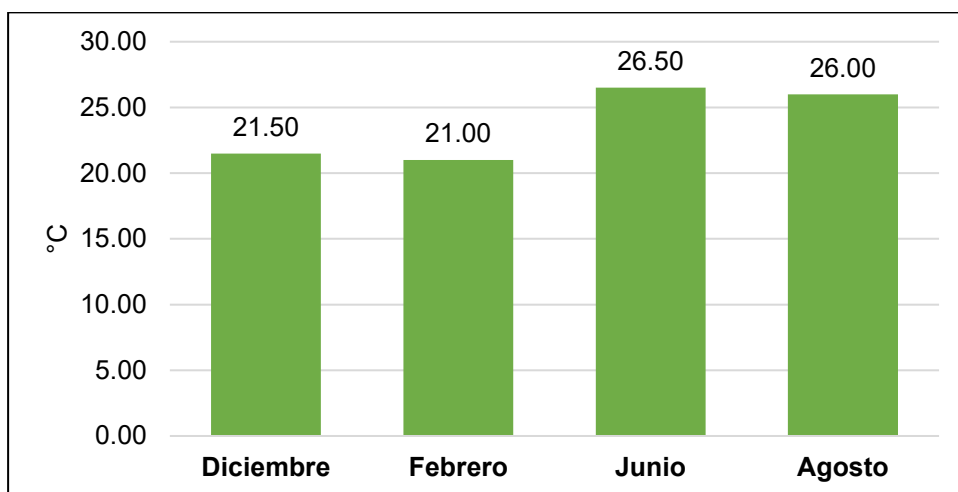


Figura 21

Temperatura del afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Otro de los parámetros analizados a nivel de laboratorio consistió en los sólidos totales suspendidos, cuyo promedio asciende al valor de 93.25 ppmSTS.

En la Figura 22, se presenta la comparación de este parámetro en cada uno de los meses de análisis teniendo su máximo valor en junio con 103 ppmSTS y su mínimo en diciembre con 82 ppmSTS, estando en ambos casos por debajo de su LMP.

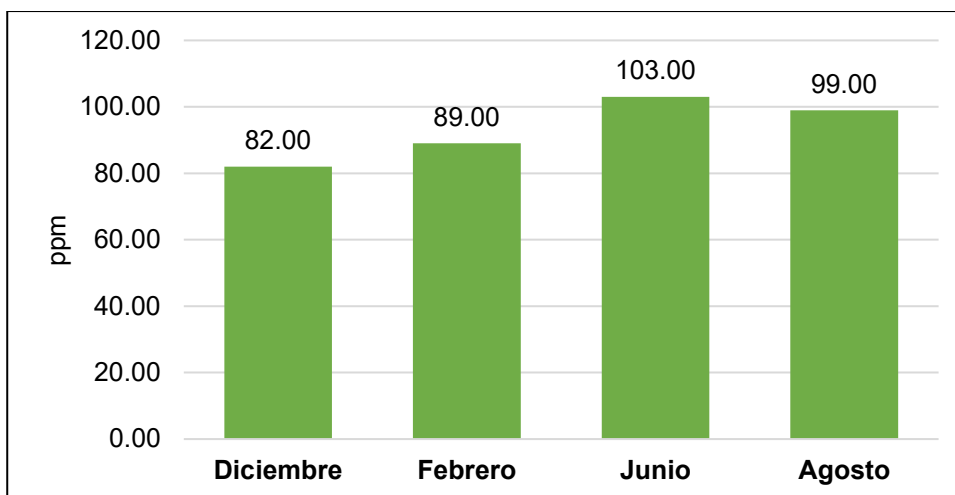


Figura 22

Sólidos totales suspendidos en el afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Finalmente, la última propiedad del agua evaluada corresponde a la presente de coliformes termotolerantes mostrada en la Figura 23, tal como exigen los límites máximos permisibles para efluentes de agua del DS 003-2010 del Ministerio del Ambiente. En esa línea, para todos los casos fueron detectados valores cercanos a 16000 NMP/100 ml.

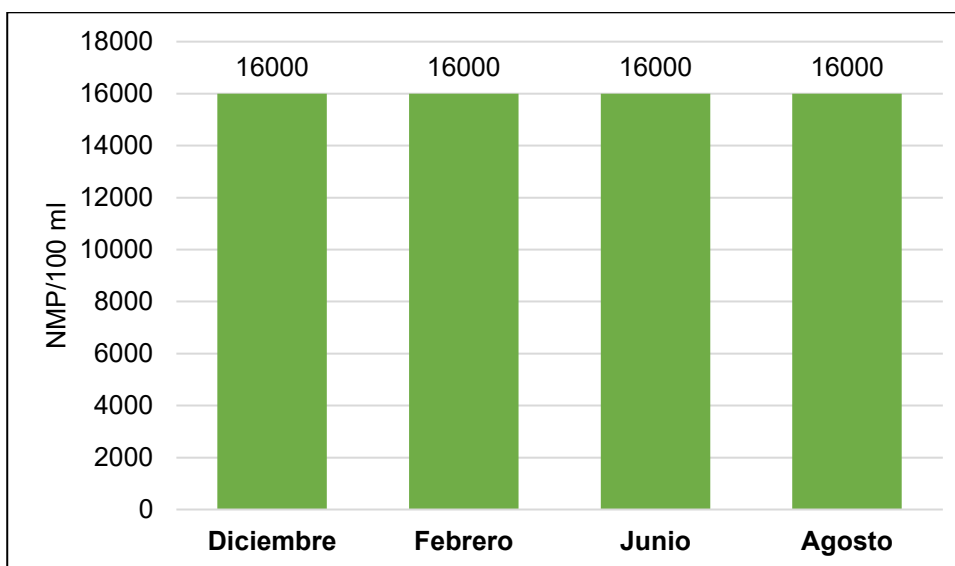


Figura 23

Coliformes termotolerantes en el afluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

4.1.3. Eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén

Para la comprobación de la eficiencia que tiene la PTAR en el mejoramiento en la calidad del agua a través de la remoción de los materiales contaminantes, se extrajeron muestras del agua provenientes del efluente, posteriormente, utilizando la ecuación adjunta en el ítem 2.2.8 de la presente tesis se calculó la eficiencia de remoción de la PTAR.

Características del agua del efluente de la PTAR

Iniciando con la caracterización mencionada, se expone la tabla 15, la cual presenta los resultados de la evaluación de los parámetros del agua desarrollada sobre las muestras recolectadas.

Tabla 15. Características del agua del afluente de la PTAR.

Mes	Demanda química de oxígeno (ppmO ₂)	Demanda bioquímica de oxígeno - 5 (ppmO ₂)	Potencial de iones de hidrógeno [pH]	Temperatura (°C)	Sólidos totales suspendidos (ppmSTS)	Coliformes termotolerantes a 44.5 °C (NMP/100 ml)
Enero	44.00	20.00	6.53	25.90	59.00	7000.00
Febrero	44.00	21.00	6.40	22.50	65.00	14000.00
Marzo	69.00	32.00	6.34	24.20	52.00	3300.00
Abril	50.00	22.00	6.87	21.80	82.00	2300.00
Mayo	18.00	40.00	6.84	25.10	34.00	7000.00
Junio	26.00	45.00	6.87	22.80	28.00	10000.00
Desviación estándar	18.07	10.71	0.25	1.61	20.04	4320.96
Promedio	41.83	30.00	6.64	23.72	53.33	7,266.67

Fuente: Elaboración propia (2024).

A partir de estos resultados, es que fueron elaboradas las comparaciones entre los valores de cada propiedad obtenidos en los meses de enero a junio.

Es así que, se inicia con la mención de los resultados de la Figura 24, la cual expone los resultados de la demanda química de oxígeno, donde

destaca el mes de marzo con un pico de 69.00 ppmO₂ (estando por debajo del LMP) y el mes de mayo con apenas 18.00 ppmO₂ presenta la menor demanda química de oxígeno. Así también, el promedio de este parámetro es de 41.83 ppmO₂.

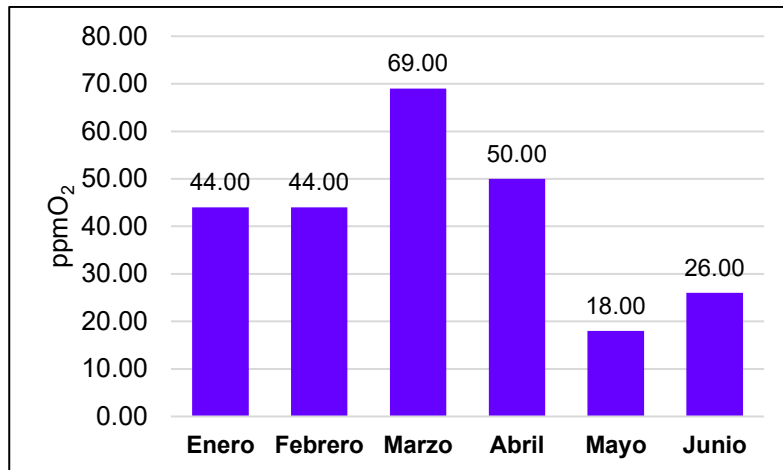


Figura 24

Demanda química de oxígeno del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Seguidamente, se expone la Figura 25 donde se tienen los diferentes valores de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente. Aquí, es dable destaca que el menor valor fue hallado el mes de enero con 20.00 ppmO₂, mientras que el mayor valor le corresponde a lo hallado el mes de junio con 45.00 ppmO₂ (cumpliendo con el LMP), llegando a un promedio de 30.00 ppmO₂.

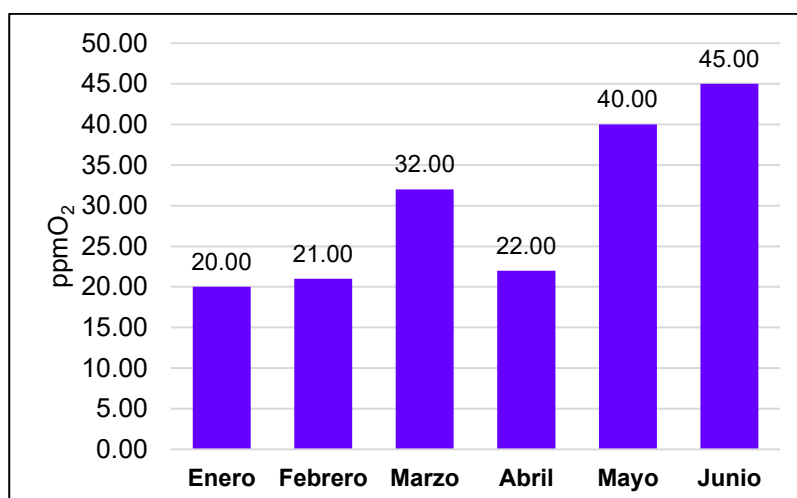


Figura 25

Demanda bioquímica de oxígeno del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

A continuación, se tiene la Figura 26 con la comparación de los valores de pH del agua del efluente. En esa línea, se aprecia que en términos generales se tienen valores oscilantes entre 6.00 y 7.00, teniendo un promedio de 6.64, dentro del límite máximo permisible estipulado por el Ministerio del Ambiente.

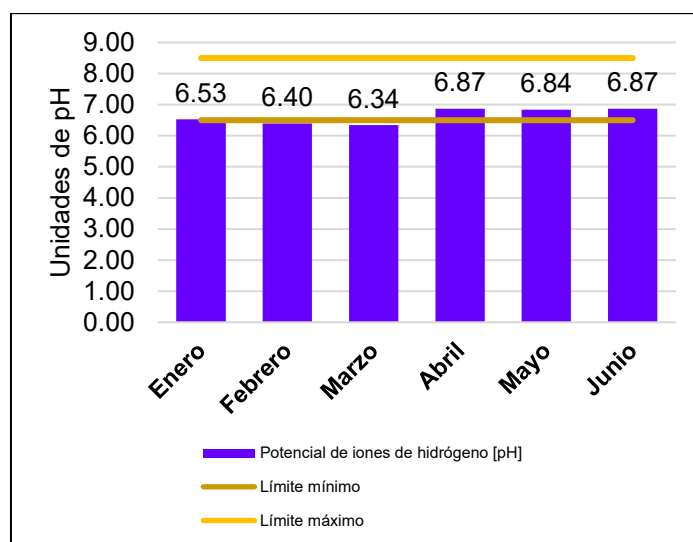


Figura 26

Potencial de iones de hidrógeno del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Habiendo registrado también la temperatura en cada uno de los meses analizados, se expone la Figura 27, donde el pico fue de 25.90 °C en el mes de enero, mientras que la menor temperatura fue registrada en el mes de abril con 21.80 °C, teniendo además un promedio de 23.72 °C. Cumpliendo también con el LMP (< 35 °C).

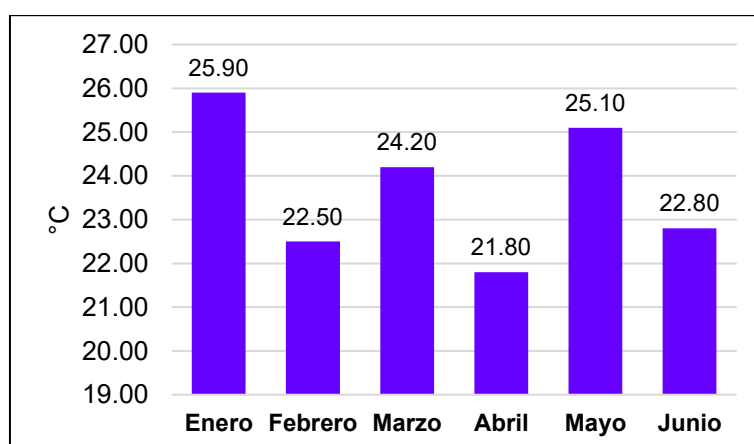


Figura 27

Temperatura del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Seguidamente, se presenta la Figura 28, donde se tienen los valores de los sólidos totales suspendidos. Aquí, se presenta un pico de 82 ppm alcanzado en las muestras de abril, mientras que el menor valor corresponde a tan solo 28 ppm en junio y un promedio de 53.33 ppm, estando por debajo de las 150 ppm.

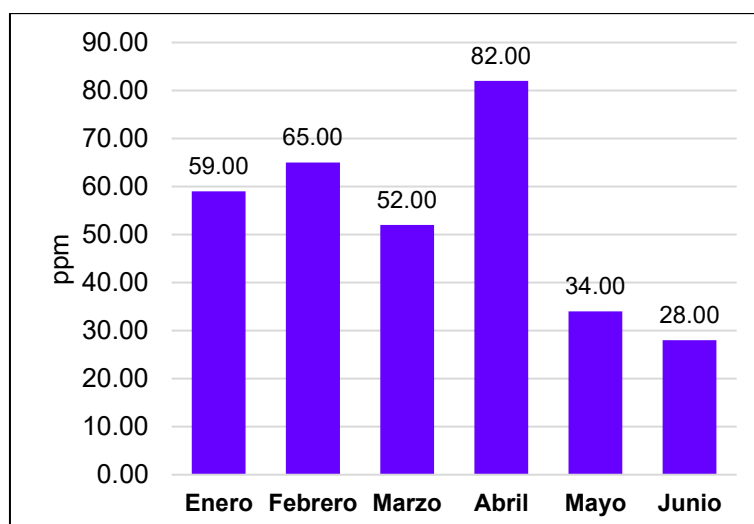


Figura 28

Sólidos totales suspendidos del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Por último, se analizaron los coliformes termotolerantes a 44.5 °C, teniendo un promedio de 7266.67 NMP/100 ml, registró un pico de 14000 NMP/100ml en el mes de febrero y un mínimo de 2300 NMP/100 ml en abril. En suma, tan solo el mes de febrero no cumplió con el requerimiento del MINAM.

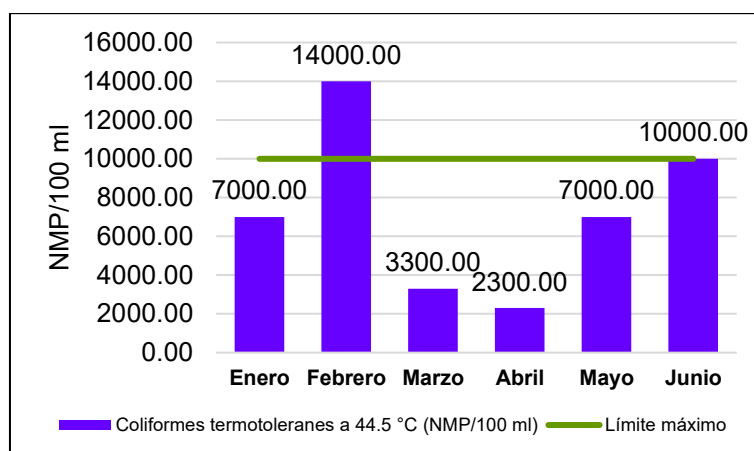


Figura 29

Coliformes termotolerantes a 44.5 °C del efluente.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Cálculo de la eficiencia de remoción

Terminado el análisis de los resultados referidas a las características del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, se procedió con el cálculo de la eficiencia de remoción del sistema.

Para ello, se tomó en cuenta el resultado promedio de los análisis desarrollados sobre las muestras de agua tomadas tanto del afluente como del efluente, utilizando estos valores en la ecuación expuesta en el apartado 2.2.8 de esta tesis. De esta forma, se alcanzaron los resultados presentados en la tabla adjunta a continuación:

Tabla 16. Eficiencia de remoción de la PTAR.

Indicador	Demanda química de oxígeno (ppmO ₂)	Demanda bioquímica de oxígeno - 5 (ppmO ₂)	Sólidos totales suspendidos (ppmSTS)	Coliformes termotolerantes a 44.5 °C (NMP/100 ml)
Afluente	739.56	396.9	93.25	16000
Efluente	41.83	30.00	53.33	7266.67
Eficiencia de remoción (%)	94.34	92.44	42.81	54.58

Fuente: Elaboración propia (2024).

En líneas generales, se puede apreciar una eficiencia superior al 90 % en el caso de la demanda química y bioquímica de oxígeno, por otro lado, los sólidos suspendidos totales se ven reducidos en más del 40 % y los coliformes termotolerantes en más de 50 %. En suma, estos resultados exhiben el cumplimiento del objetivo de la PTAR, sumado al cumplimiento de los límites máximos permisibles para agua de efluentes.

4.1.4. Comparación de parámetros del afluente y efluente de la PTAR respecto a los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el DSN° 003-2010-MINAM

La tabla presenta la comparación entre las concentraciones promedio de los parámetros analizados en el afluente (agua residual cruda) y el efluente (agua tratada) de la PTAR de Jaén frente a los límites máximos permisibles establecidos por el DSN° 003-2010-MINAM.

Los valores del afluente evidencian concentraciones elevadas de DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, lo cual es característico de un agua residual doméstica sin tratamiento previo. Por el contrario, los valores del efluente reflejan una reducción significativa de contaminantes, sobre todo en la DBO_5 y DQO, con eficiencias superiores al 90 %, lo que indica que el sistema de tratamiento cumple su función de remoción de materia orgánica.

Sin embargo, en el parámetro de coliformes termotolerantes se observa que:

- En el mes de febrero, se supera el límite máximo permisible de 10 000 NMP/100 mL , alcanzando un valor de 14 000 NMP/100 mL , lo cual representa un incumplimiento puntual de la normativa.
- En el mes de junio, el valor registrado es igual al límite permisible (10 000 NMP/100 mL), lo que indica que el sistema se encuentra en el umbral de cumplimiento, por lo que una variación mínima podría representar un incumplimiento.

Estos resultados sugieren que, si bien la PTAR tiene una eficiencia aceptable en la remoción de contaminantes, es necesario optimizar las operaciones de desinfección y mantenimiento de lagunas, especialmente en periodos de alta carga, a fin de garantizar el cumplimiento continuo de los estándares ambientales establecidos.

Tabla 17. Comparación de los resultados del afluente y efluente de la PTAR con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa nacional (DSN° 003-2010-MINAM)

Punto en el proceso de la PTAR	Mes	Demanda química de oxígeno (ppmO ₂)	Demanda bioquímica de oxígeno - 5 (ppmO ₂)	Potencial de iones de hidrógeno [pH]	Temperatura (°C)	Sólidos totales suspendidos (ppmSTS)	Coliformes termotolerantes a 44.5 °C (NMP/100 ml)
AFLUENTE	Diciembre	611.20	320.40	6.60	21.50	82	< 1600
	Febrero	620.20	330.30	6.70	21.00	89	< 1600
	Junio	905.20	501.40	7.10	26.50	103	< 1600
	Agosto	821.64	435.50	6.92	26.00	99	< 1600
EFLUENTE	Enero	44	20	6.53	25.9	59	7000
	Febrero	44	21	6.40	22.5	65	14000
	Marzo	69	32	6.34	24.2	52	3300
	Abril	50	22	6.87	21.8	82	2300
	Mayo	18	40	6.84	25.1	34	7000
	Junio	26	45	6.87	22.8	28	10000
Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM		200	100	6.50 - 8.50	<35	150	10000

Fuente: Elaboración propia en base a DSN° 003-2010-MINAM (MINAM, 2010).

4.1.5. Actividades de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén

Se encontró que la EPS Marañón S.A. considera 5 actividades principales, siendo estas: limpieza, remoción, traslado, verificación e inspección, donde cada una cuenta con diversas tareas que son detalladas a continuación:

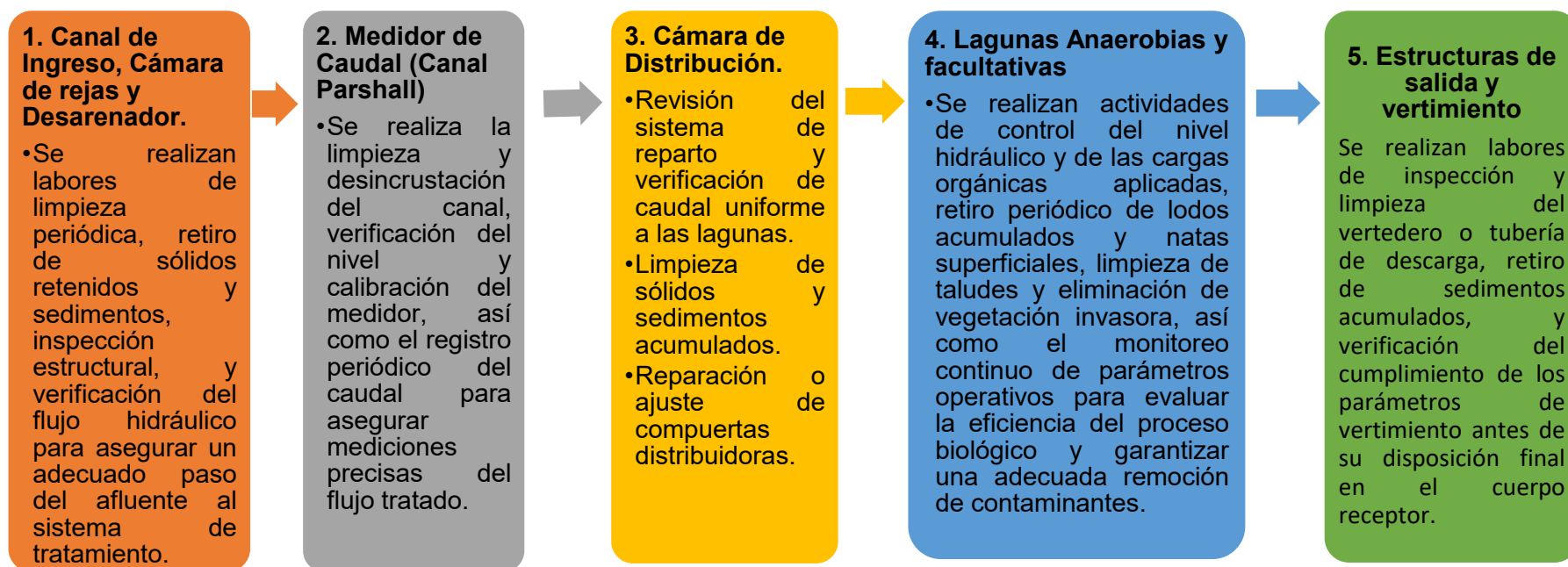


Figura 30

Actividades de operación y mantenimiento en la PTAR.

Fuente: Elaboración propia (2024).

4.1.6. Análisis comparativo de frecuencias mínimas de monitoreo y registro de principales parámetros de PTAR.

Al realizar la comparación entre las frecuencias de operación y mantenimiento establecidas por la EPS y las frecuencias mínimas exigidas por el Reglamento de la Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento (RCPSS – Res. N.º 058-2023-SUNASS-CD), se identificó que en algunas actividades los intervalos de ejecución superan los plazos normativos establecidos. Esta situación representa una deficiencia en la gestión operativa, ya que una menor frecuencia en la limpieza, monitoreo o mantenimiento puede comprometer la eficiencia del tratamiento, favorecer la acumulación de sólidos o lodos, alterar el equilibrio biológico de las lagunas y aumentar el riesgo de incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Por ello, se recomienda ajustar dichas actividades a la periodicidad requerida por la normativa vigente, garantizando un funcionamiento óptimo y continuo de la planta de tratamiento.

Tabla 18. Análisis comparativo de las frecuencias de operación y mantenimiento de la PTAR Jaén según el RCPSS.

Punto en el proceso de la PTAR	Tecnología de la PTAR	Parámetro	Frecuencia mínima según caudal promedio anual tratado en la PTAR	
			Según D.S. N°009-2021-VIVIENDA (RCPSS)	Monitoreo operativo en la PTAR – Jaén
			≥300 L/s	≥300 L/s
Afluente PTAR	General	Caudal promedio de 24 horas (L/s)	Cada hora	Cada 8 horas
		Temperatura ambiental (°C)	Semanal	Semanal
		Temperatura del agua (°C)	Semanal	Semanal
		pH	Semanal	Semanal
		Color del agua cruda	Semanal	Semanal
		Demanda bioquímica de oxígeno total (DBO) (mg/L)	Mensual	Mensual
		Demanda química de oxígeno total (DQO) (mg/L)	Cada 2 semanas	Quincenal
Tratamiento secundario	UASB	Temperatura del Efluente (°C)	Semanal	-
		pH del efluente	Semanal	-
		Masa de los sólidos suspendidos totales de la	Mensual	-

		manta de lodos en la zona de digestión (kg/m ³)		
		Masa de los sólidos suspendidos volátiles de la manta de lodos en la zona de digestión (%ST)	Mensual	-
	Lagunas (sin aireación mecánica)	Color del agua de la laguna	Semanal	Semanal
		Flotantes en la superficie(% de la superficie)	Semanal	Semanal
		Temperatura del Efluente (°C)	Cada 2 semanas	Mensual
		pH del efluente	Cada 2 semanas	Mensual
		Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Semanal	Mensual
	Laguna aireada	Temperatura del Efluente (°C)	Cada 2 semanas	-
		Oxígeno disuelto en la laguna (mg/L)	Semanal	-
	Lodos Activados (tanque de aireación)	Temperatura del Efluente (°C)	Semanal	-
		Oxígeno disuelto en el reactor aireado(mg/L)	Continuo	-
		Sólidos suspendidos totales(mg/L)	Semanal	-
		Volumen de lodo en probeta(ml/L)	Semanal	-
		Índice de lodo (ml/g)	Semanal	-
	MBBR (tanque de aireación)	Temperatura del Efluente (°C)		-
		Oxígeno disuelto en el reactor aireado (mg/L)		-
	Filtro Percolador	Uniformidad de carga	diario	-
		Temperatura del Efluente (°C)	Cada 2 semanas	-
		Sólidos suspendidos totales(mg/L)	mensual	-
		Oxígeno disuelto en el efluente (mg/L)	Cada 2 semanas	-
Desinfección	Cloración (efluente de cámara de contacto)	Cloro Residual (mg/L)	Semanal	-
Efluente PTAR	General	Caudal promedio de 24 horas (L/s)	Cada hora	No hay canal Parshall o flujómetro
		Temperatura del agua (°C)	Semanal	Mensual
		pH	Semanal	Semanal
		Demanda bioquímica de oxígeno total (DBO) (mg/L)	Mensual	Mensual
		Demanda química de oxígeno total (DQO) (mg/L)	Cada 2 semanas	Mensual

		Coliformes termotolerantes en caso de vertimiento a cuerpos naturales (NMP/100mL)	Mensual	Mensual
		Coliformes termotolerantes en caso de reuso autorizado (NMP/100mL)	Cada 2 semanas	-
		Huevos de helmintos, en caso de reuso autorizado (NMP/100 mL)	Mensual	-

Fuente: Elaboración propia en base al Manual de O&M de la EPS Maraón S.A. y RCPSS (Res. N.  058-2023-SUNASS-CD).

4.1.7. Comparación y análisis de las frecuencias de operación y mantenimiento de la PTAR con la normativa vigente (RCPSS)

Al realizar el contraste entre las frecuencias mínimas normativas y las frecuencias reales de mantenimiento efectuadas por la EPS en la PTAR de Jaén, se observa que la mayoría de las actividades rutinarias, como la limpieza de rejas y la eliminación de vegetación en lagunas, se realizan de manera diaria o quincenal, lo cual supera la frecuencia mínima establecida. Sin embargo, actividades más especializadas, como la batimetría y la remoción de lodos, no se ejecutan con la periodicidad exigida por la normativa vigente (SUNASS – Anexo 11).

Esta diferencia en la ejecución de actividades puede generar una pérdida progresiva de la capacidad hidráulica efectiva, acumulación de lodos, reducción del volumen útil de las lagunas y un incremento en el riesgo de incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) en el efluente final. Por tal motivo, se recomienda fortalecer el programa de mantenimiento preventivo mediante una planificación calendarizada y documentada, asegurando la trazabilidad y sostenibilidad operativa del sistema de tratamiento.

Tabla 19. Cuadro comparativo de actividades de operación y mantenimiento de la PTAR de Jaén frente a la frecuencia mínima normativa (SUNASS – Anexo 11)

N°	Componente / Estructura	Actividad de O&M	Frecuencia mínima Normativa (SUNASS – Anexo 11)	Frecuencia real EPS	Cumple	Observaciones técnicas
1	Cámara de rejás	Limpieza	2 veces por día	Diario	Sí	Se ajusta a la frecuencia normativa.
2	Desarenador	Limpieza	Semanal	Semanal	Sí	Se ajusta a la frecuencia normativa.
3	Canal Parshall (medidor de caudal)	Limpieza y verificación	Mensual	Quincenal	Sí	Frecuencia real es mayor a la mínima requerida.
4	Lagunas anaerobias	Eliminación de vegetación	Mensual	Mensual	Sí	Cumple con la frecuencia normativa.
5	Lagunas anaerobias	Batimetría	Cada 1 año	Cada 3 años	No	Ejecución fuera de la periodicidad normativa.
6	Lagunas anaerobias	Remoción de lodos	Máx. cada 5 años	Única vez en 07.2023 desde su construcción.	No	Ejecución fuera de la periodicidad establecida por la normativa.
7	Lagunas facultativas	Eliminación de vegetación	Mensual	Mensual	Sí	Cumple con la frecuencia normativa.
8	Lagunas facultativas	Batimetría	Cada 2 años	Cada 3 años	No	Ejecución fuera de la periodicidad normativa.
9	Lagunas facultativas	Remoción de lodos	Máx. cada 10 años	Única vez en 07.2023 desde su construcción.	No	Ejecución fuera de la periodicidad establecida por la normativa.
10	Punto de vertimiento	Control y limpieza	Semanal	Semanal	Sí	Cumple con lo establecido.
11	Áreas exteriores / accesos	Limpieza y mantenimiento general	Mensual	Mensual	Sí	Cumple con la frecuencia normativa.

Fuente. Elaboración propia en base a la Resolución N.º 058-2023-SUNASS-CD (Anexo 11) y reportes operacionales de la EPS Maraón (2025).

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Los análisis de laboratorio realizados en el punto de descarga evidenciaron que, durante varios meses, los valores de DBO_5 y coliformes termotolerantes superaron el LMP establecido en el D.S. N.° 003-2010-MINAM, alcanzando concentraciones de hasta 14 000 NMP/100 ml en febrero. Esto indica que el tratamiento no está garantizando la calidad exigida para el vertimiento en cuerpos naturales de agua, lo que representa un riesgo ambiental y sanitario para la quebrada receptora. Características de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén – Cajamarca.

4.2.2. Durante la inspección técnica de la PTAR se observaron deficiencias como acumulación de lodos en las lagunas anaerobias y facultativas, vegetación invasiva, falta de mantenimiento preventivo y ausencia de instrumentos de monitoreo. Estas deficiencias reducen el volumen útil de tratamiento, disminuyen el tiempo de retención hidráulica y provocan una depuración incompleta del afluente.

4.2.3. El análisis de eficiencia mostró que la remoción de contaminantes es irregular a lo largo del año. Para la DBO_5 , se alcanzó una remoción promedio de 54.58 %, mientras que para la DQO y SST los porcentajes fueron ligeramente menores, evidenciando un tratamiento parcial del afluente. Estos valores se encuentran por debajo de los niveles esperados para un sistema de lagunas bien operado, lo que indica una disminución en la capacidad de depuración de la planta. Esta situación se asocia principalmente al exceso de lodos y al tiempo de retención hidráulica insuficiente, factores que afectan directamente la calidad del efluente tratado.

4.2.4. Se constató que las actividades de operación y mantenimiento no se realizan con la frecuencia ni el control técnico necesarios. No existen

registros operativos sistematizados, ni fichas de seguimiento técnico actualizadas. La limpieza de las unidades se realiza de forma esporádica, y la acumulación de sedimentos en las lagunas no se ha gestionado mediante un programa planificado. Esta deficiencia en la gestión influye directamente en el bajo rendimiento de las lagunas, incrementando la carga orgánica en el efluente y reduciendo la eficiencia de remoción.

4.2.5. Los resultados de las muestras tomadas en el punto de descarga y aguas abajo de la quebrada mostraron un aumento en la concentración de parámetros contaminantes, especialmente en coliformes termotolerantes y DBO_5 , lo que evidencia un impacto ambiental significativo. Si bien el efluente atraviesa un proceso de tratamiento previo, la calidad final no es suficiente para garantizar la protección del cuerpo receptor, generando riesgos sanitarios para las poblaciones cercanas y afectando el ecosistema acuático. Estos resultados demuestran que la PTAR no está cumpliendo completamente su función de reducir la carga contaminante antes del vertimiento.

4.2.6. Con el propósito de contrastar los hallazgos obtenidos en la presente investigación con otros estudios desarrollados en el ámbito nacional, se realizó un análisis comparativo entre las tesis de Adrianzén (2024) y Pérez Oclocho (2025), ambas relacionadas con la evaluación técnica y eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean sistemas de lagunas de estabilización. Este análisis permitió identificar coincidencias en la metodología, los parámetros evaluados y las principales deficiencias operativas reportadas, proporcionando un marco de referencia que fortalece la validez técnica de los resultados obtenidos en la PTAR de Jaén.

Tabla 20. Comparación de tesis relacionadas con la evaluación técnica y eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales

Criterio	Adrianzén (2024)	Pérez Oclocho (2025)
Título	<i>“Evaluación técnica del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Motupe – Lambayeque”</i>	<i>“Evaluación de la eficiencia de las lagunas de estabilización de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Ignacio – Cajamarca”</i>
Problema general	Determinar si el proceso de tratamiento cumple con los parámetros de calidad exigidos por la normativa nacional y si su eficiencia es suficiente para evitar la contaminación del cuerpo receptor.	Determinar la eficiencia del sistema de lagunas frente a los parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos por la normativa peruana.
Objetivo general	Evaluar técnica y operativamente el proceso de tratamiento de la PTAR de Motupe, verificando el cumplimiento de los límites máximos permisibles del D.S. N.º 003-2010-MINAM.	Evaluar la eficiencia del sistema de lagunas de estabilización de la PTAR de San Ignacio mediante el análisis de la calidad del afluente y efluente.
Metodología	Enfoque descriptivo y cuantitativo, aplicando análisis físico-químicos (DBO, DQO, SST, pH) y revisión técnica de la infraestructura.	Enfoque cuantitativo, comparando los resultados de laboratorio del ingreso y salida con los valores normativos.
Resultados principales	La PTAR presenta deficiencias en la remoción de DBO y DQO debido a la falta de mantenimiento de las unidades de tratamiento, alcanzando una eficiencia promedio del 54 %.	La eficiencia de remoción alcanzó un 54.58 % para la DBO y 50.24 % para los SST, lo que indica un funcionamiento parcial del sistema.
Conclusiones	Se requiere mejorar la operación y mantenimiento del sistema, implementar mediciones continuas de caudal y reestructurar el programa de control de lodos.	El sistema de lagunas requiere mantenimiento periódico y reajuste de tiempos de retención, ya que la acumulación de lodos y vegetación afecta el rendimiento.

Fuente: Elaboración propia (2025) en base a Adrianzén (2024) y Pérez Oclocho (2025).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Se concluye que la calidad del efluente tratado en la PTAR de Jaén no cumple de forma sostenida con los valores establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, presentando concentraciones elevadas de algunos parámetros, sobre todo durante periodos de mayor caudal. Esto evidencia una limitada capacidad de depuración del sistema actual frente a la carga orgánica generada por la población.

5.1.2. El diagnóstico técnico evidenció deficiencias estructurales y operativas importantes, como la acumulación excesiva de lodos, falta de mantenimiento planificado, equipos deteriorados, escaso control operativo y ausencia de un sistema de monitoreo continuo. Estas falencias han reducido significativamente la eficiencia hidráulica y biológica del tratamiento, generando un efluente que no cumple los estándares de calidad ambiental.

5.1.3. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia de remoción de contaminantes es variable y limitada, especialmente en lo referido a la DBO₅, DQO y SST, cuyos porcentajes de remoción no alcanzan valores óptimos para asegurar el cumplimiento normativo. Si bien en algunos meses se observan reducciones aceptables, la falta de uniformidad en el desempeño indica deficiencias operativas y de diseño.

5.1.4. Las actividades de operación y mantenimiento presentan un grado limitado de sistematicidad y planificación, lo que se traduce en un deterioro progresivo de la infraestructura y en una reducción de la eficiencia del tratamiento. No existen registros técnicos completos, manuales actualizados de operación ni rutinas programadas de mantenimiento preventivo.

5.1.5. La evaluación de la quebrada receptora evidenció impactos ambientales negativos significativos, con alteraciones en parámetros como la DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes aguas abajo del punto de vertimiento. Esto demuestra que el efluente no tratado adecuadamente está

afectando la calidad ecológica del ecosistema acuático y aumentando la presión sobre los recursos hídricos locales.

5.1.6 La evaluación técnica del proceso de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Jaén permitió identificar el nivel de eficiencia del sistema y su incidencia directa en la calidad del cuerpo receptor. Los resultados mostraron que, si bien la infraestructura cumple en términos generales con los parámetros de diseño establecidos en la normativa nacional, existen deficiencias operativas, de mantenimiento y control que limitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. N.º 003-2010-MINAM. En este sentido, se concluye que es necesario optimizar las actividades de operación y monitoreo, fortalecer la gestión técnica bajo el marco del RCPSS y la Norma OS.090 del RNE, e implementar medidas de mejora que garanticen una reducción sostenida del impacto sobre el recurso hídrico y la preservación ambiental del cuerpo receptor.

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1 Manejo de lodos y capacidad hidráulica:

Establecer un calendario técnico de limpieza y extracción periódica de lodos en las lagunas anaerobias y facultativas, con el fin de recuperar la capacidad hidráulica efectiva y garantizar un adecuado tiempo de retención. Este programa debe complementarse con inspecciones visuales y mediciones batimétricas periódicas, que permitan monitorear la acumulación de sedimentos y detectar oportunamente daños estructurales en taludes y bordes.

5.2.2. Monitoreo de la calidad del efluente:

Realizar análisis físico-químicos (DBO_5 , DQO, SST, pH) y microbiológicos (coliformes termotolerantes) de forma mensual en puntos estratégicos de ingreso y descarga. Esto permitirá evaluar de manera continua el desempeño de la PTAR y asegurar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM. Se recomienda contar con personal capacitado y equipos calibrados para garantizar la trazabilidad de los resultados.

5.2.3. Control de caudales y carga hidráulica:

Instalar sistemas de medición continua de caudales de ingreso y descarga que permitan prevenir sobrecargas hidráulicas y orgánicas. Esto facilitará una mejor toma de decisiones operativas y permitirá ajustar la gestión del sistema según las condiciones reales de flujo.

5.2.4. Mantenimiento estructural de las lagunas:

Reparar taludes, eliminar vegetación invasiva y verificar que las dimensiones y profundidades de las lagunas cumplan con los criterios técnicos de diseño establecidos en la Norma OS.090. En caso de sobredimensionamiento, evaluar la posibilidad de sectorizar o subdividir las lagunas para mejorar la eficiencia de tratamiento.

5.2.5. Fortalecimiento de la gestión operativa:

Capacitar de manera continua al personal encargado de la operación y mantenimiento de la PTAR, en temas de control de procesos, gestión de lodos, bioseguridad y normativa ambiental. Asimismo, se recomienda gestionar recursos logísticos y financieros que garanticen la sostenibilidad operativa del sistema.

5.2.6. Gestión ambiental participativa:

Coordinar con la autoridad ambiental, el municipio y la población local para establecer mecanismos de seguimiento y control del impacto ambiental generado por el efluente en la quebrada receptora. Esto incluye campañas de sensibilización, reuniones periódicas y la publicación de reportes de monitoreo, fortaleciendo la transparencia y la corresponsabilidad en la gestión ambiental.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. BIBLIOGRAFÍA

- Angarita, Y., & Narváez, M. (2020). *Evaluación del sistema de tratamiento de laguna de oxidación ubicada en el corregimiento de Zapatosa Cesar* [Tesis de licenciatura, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO. <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/4717>
- Arévalo, J. (2020). *Comparación de la eficiencia de tratamientos de aguas residuales en lagunas de oxidación, Uciza y Trujillo – 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio UPEU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3254>
- Argota-Pérez, G., & Iannacone, J. (2020). Sistema de tratamiento mineral pasivo ante el costo ambiental sostenible estimado en la laguna de oxidación Angostura Limón, Ica, Perú. *Biotempo*, 17(2), 79–90. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v17i1.2998>
- Loaiza, F. (2019). *Diagnóstico y propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de oxidación de la parroquia Atahualpa, ubicada en el Cantón Santa Elena* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42683>
- Malavé, C., & Quillay, C. (2019). *Evaluación de la eficiencia de remoción de la materia orgánica en la laguna de oxidación del Cantón Yaguachi, provincia del Guayas* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42684>
- Márquez, D. (2021). *Cuantificación de indicadores de la calidad de agua residual municipal en un sistema de lagunas de oxidación* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio UANL. <http://eprints.uanl.mx/21833/>
- Mejía, F., & Lino, G. (2021). *Evaluación del efluente de las lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de la parroquia Punta Carnero, Cantón Salinas y propuesta de tratamiento de las aguas residuales domésticas* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53755>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM: Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. El Peruano. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Solórzano, E. (2021). *Diagnóstico de la operación y mantenimiento y evaluación de impactos ambientales de las lagunas de oxidación de la ciudad Palestina, provincia del Guayas* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio UCSG. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16598>

- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras 2022*. SUNASS. <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Urviola, Y. (2022). *Evaluación ecotoxicológica de los efluentes de la laguna de oxidación El Espinar, en la bahía interior del lago Titicaca de la ciudad de Puno* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio RENATI. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3156100>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM: Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Diario Oficial El Peruano. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Norma OS.090: Sistema de agua potable y alcantarillado sanitario*. SÉNCICO. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Riffo, N. (2017). *Análisis de ciclo de vida para una planta de tratamiento de aguas residuales: potencial de calentamiento global generado por PTAR Talagante* [Memoria de título, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142398>

CAPÍTULO VII: ANEXOS

Anexo N° 01 – Informe Técnico de Batimetría, y Operación y Mantenimiento de la PTAR.

Anexo N° 02 – Relación de trabajadores de la PTAR

Anexo N° 03 – Tablas de resultados de laboratorio

Anexo N° 04 – Planos

Anexo N° 05 – Fotografías de campo



Fotografía 1. Vista de la cámara de rejillas del afluente a la laguna de oxidación.



Fotografía 2. Vista de las lagunas LA-02 y LF-03.



Fotografía 3. Vista de las lagunas de oxidación.



Fotografía 4. Vista del muestreo en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.



Fotografía 5. Separación de muestra de agua en laboratorio.



Fotografía 6. Desarrollo de análisis de la demanda de oxígeno.



Fotografía 7. Análisis para la determinación de coliformes termotolerantes.



Fotografía 8. Análisis para la determinación de sólidos totales suspendidos.