

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica
de oxígeno de plantas de tratamiento de aguas
residuales en distritos rurales. Huaytará –
Huancavelica, 2021 – 2022.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO, EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES**

PRESENTADO POR:

Bach. HUAROTO ESPINOZA, Alex José

ASESOR:

Dr. CHUCHÓN MARTÍNEZ, Saúl Alonso

AYACUCHO – PERÚ

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Alex José HUAROTO ESPINOZA
R.D. N° 196-2022-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, siendo las cuatro de la tarde del día siete del mes de octubre del año dos mil veintidós, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el auditorio del centro cultural de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, presidido por el Dr. Saturnino M. Tenorio Bautista; Mg. Sonia Palomino Felices (Miembro Jurado), Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez (Miembro Asesor) y Mg. Rilder Nemesio Gastelú Quispe (Miembro 4to Jurado), actuando como secretaria docente la Dra. Nilda Aurea Apayco Espinoza; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **“Remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales, Huaytará - Huancavelica, 2021”**; presentado por el Bach. Alex José Huaroto Espinoza; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó a la secretaria docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio al acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el reglamento de grados y títulos de la escuela profesional de biología.

Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los miembros jurado, a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminado esta etapa, el presidente invito al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el auditorio para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones, cuyos resultados son los que se consignan a continuación:


| MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR | EXPOSICIÓN | RESPUESTA A PREGUNTAS | PROMEDIO |
|--|-------------------|----------------------------------|-----------------|
| Mg. Sonia Haydee Palomino Felices | 14 | 11 | 13 |
| Mg. Rilder Nemesio Gastelú Quispe | 14 | 14 | 14 |
| PROMEDIO | | | 14 |

El sustentante alcanzo el promedio de 14 (catorce) aprobado.


Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al auditorio dando a conocer los resultados, e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las 6:40 p.m.; firmando al pie del presente en señal de conformidad.




Dr. Saturnino M. Tenorio Bautista
Presidente




Mg. Sonia Haydee Palomino Felices
Miembro - Jurado



Mg. Rilder Nemesio Gastelú Quispe
Miembro – 4to Jurado



Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
Miembro Asesor



Dra. Nilda Aurea Apayco Espinoza
Secretaria docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 025-
2022-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **“Remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales. Huaytará – Huancavelica, 2021-2022”**, presentado por el Bach. ALEX JOSÉ HUAROTO ESPÍNOZA; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 23%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-C.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 15 de octubre de 2022.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS


Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
DECANO

Remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales. Huaytará – Huancavelica, 2021- 2022

por Alex José Huaroto Espinoza

Fecha de entrega: 15-nov-2022 12:06p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1954897626

Nombre del archivo: 1A_Huaroto_Espinoza_Alex_Jos__Pregrado_2022_TURNITIN.docx (290.22K)

Total de palabras: 11453

Total de caracteres: 61568

Remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales. Huaytará – Huancavelica, 2021-2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet | 3% |
| 2 | repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet | 3% |
| 3 | repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 4 | repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 5 | es.scribd.com Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 8 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |

| | | |
|----|---|------|
| 9 | repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 10 | docplayer.es Fuente de Internet | 1 % |
| 11 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 12 | Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante | 1 % |
| 13 | repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 14 | es.slideshare.net Fuente de Internet | 1 % |
| 15 | repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 16 | datateca.unad.edu.co Fuente de Internet | 1 % |
| 17 | NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. "Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2009 Publicación | <1 % |
| 18 | repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 19 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante | <1 % |
| 20 | repositorio.unican.es Fuente de Internet | <1 % |
| 21 | tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 22 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 23 | www.vivienda.gob.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 25 | Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante | <1 % |
| 26 | Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante | <1 % |
| 27 | rephip.unr.edu.ar Fuente de Internet | <1 % |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Con mucho amor y cariño a mis padres,
a mi pareja y familiares por su apoyo
incondicional.

Alex.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme y materializar mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, por labrar en mí la profesión de biólogo y a sus docentes por sus sabias enseñanzas.

Al Laboratorio de Microbiología Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas, por brindarme las facilidades materiales para realizar el trabajo de investigación.

Al Bach. Rudecindo Huincho Rodríguez, jefe de Departamento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del SEDA Ayacucho.

A mi asesor, Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez, por su orientación académica y contribución, que han permitido la elaboración y finalización del presente trabajo de tesis.

A mis amigos y compañeros por su motivación y apoyo moral para la materialización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| ÍNDICE GENERAL | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xiii |
| RESUMEN | xv |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1. Antecedentes | 3 |
| 2.1.1. Nivel internacional | 3 |
| 2.1.2. Nivel nacional | 3 |
| 2.2. Marco conceptual | 6 |
| 2.2.1. Eficiencia de remoción o capacidad de remoción | 6 |
| 2.2.2. Colifor mes totales y fecales | 6 |
| 2.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | 6 |
| 2.2.4. Contaminación del agua | 7 |
| 2.2.5. Aguas residuales | 7 |
| 2.2.6. Aguas residuales domésticas | 7 |
| 2.2.7. Aguas residuales industriales | 7 |
| 2.2.8. Aguas residuales municipales | 7 |
| 2.2.9. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) | 7 |
| 2.2.10. Afluente | 7 |
| 2.2.11. Efluente | 8 |
| 2.3. Bases teóricas | 8 |
| 2.3.1. Eficiencia | 8 |
| 2.3.2. Remoción de bacterias coliformes fecales o termotolerantes | 8 |
| 2.3.3. Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | 9 |
| 2.3.4. Aguas servidas o residuales | 9 |
| 2.3.5. Contaminantes a tener en cuenta en el tratamiento o purificación de las aguas residuales | 10 |
| 2.3.6. Principales parámetros de caracterización de aguas residuales en estudio | 11 |
| 2.3.7. Tratamiento de aguas residuales | 12 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.4. | Marco legal | 19 |
| 2.4.1 | El D.S. N° 004 – 2017 – MINAM aprueba los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) y establece disposición complementaria | 19 |
| 2.4.2 | LMP (límites máximos permisibles) para efluentes de plantas de tratamiento de desagües de origen doméstico según D.S. N° 003 – 2010 - MINAM | 19 |
| 2.4.3 | Norma OS.090: planta de tratamiento de aguas residuales | 20 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1. | Población objetivo de estudio | 21 |
| 3.1.1. | Ubicación | 21 |
| 3.1.2. | Puntos de muestreo | 21 |
| 3.1.3. | Número de muestras y frecuencia de muestreos | 22 |
| 3.1.4. | Muestreo | 22 |
| 3.2. | Determinación de coliformes termotolerantes o fecales | 22 |
| 3.2.1. | Técnica tubo múltiple de fermentación o número más probable (NMP) | 22 |
| 3.3. | Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | 23 |
| 3.4. | Determinación de sólidos totales en suspensión (SST) | 24 |
| 3.5. | Determinación del pH y temperatura | 24 |
| 3.6. | Determinación de la capacidad de remoción | 24 |
| IV. | RESULTADOS | 25 |
| V. | DISCUSIÓN | 39 |
| VI. | CONCLUSIONES | 47 |
| VII. | RECOMENDACIONES | 49 |
| VIII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |
| | ANEXOS | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Principales contaminantes de importancia en la purificación del agua residual. | 10 |
| Tabla 2. Unidades operacionales de las PTARs* en distritos rurales Huaytará-Huancavelica. | 18 |
| Tabla 3. Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. | 19 |
| Tabla 4. Coordenadas de los puntos de muestreo en cada planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de distritos rurales de la Provincia de Huaytará – Huancavelica. | 21 |
| Tabla 5. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Huaytará, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua según D.S. N° 003-2010-MINAM. | 34 |
| Tabla 6. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Pilpichaca, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM. | 35 |
| Tabla 7. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Cusicancha, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM. | 36 |
| Tabla 8. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Huayacundo, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM. | 37 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Valores promedios en logaritmo del número de coliformes fecales (Log NMP/100 mL), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 27 |
| Figura 2. Valores promedios de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 28 |
| Figura 3. Valores promedios de sólidos suspendidos totales (mg/L), hallados en afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 29 |
| Figura 4. Valores promedios del pH, hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 30 |
| Figura 5. Valores promedios de la temperatura (°C), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 31 |
| Figura 6. Valores del porcentaje de remoción del número de bacterias coliformes fecales, de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 32 |
| Figura 7. Valores del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022. | 33 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 1. Normas legales. | 57 |
| Anexo 2. Tabla de NMP y límites de confianza para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con cinco tubos. | 61 |
| Anexo 3. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cusicancha. | 62 |
| Anexo 4. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca. | 63 |
| Anexo 5. Laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca. | 64 |
| Anexo 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huaytará. | 65 |
| Anexo 7. Laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Huayacundo. | 66 |
| Anexo 8. Realizando la toma de muestras en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cusicancha. | 67 |
| Anexo 9. Preparando los materiales y los medios de cultivo para su esterilización respectiva. | 68 |
| Anexo 10. Realizando la siembra de la muestra de agua residual. | 69 |
| Anexo 11. Tubos de prueba positivos y negativos, después de la incubación por 24 horas a 37°C. | 70 |
| Anexo 12. Preparación de muestras de aguas residuales para la determinación de DBO ₅ . | 71 |
| Anexo 13. Incubación de muestras de aguas residuales para la determinación de DBO ₅ por el método espirométrico. | 72 |
| Anexo 14. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio. | 73 |
| Anexo 15. Matriz de consistencia. | 74 |

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de evaluar la capacidad de remoción de coliformes fecales (CF) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las aguas sometidas a depuración en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de los distritos de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo de la provincia de Huaytará, región Huancavelica, cuyas muestras fueron procesadas en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y en el Laboratorio de Control de Calidad de la Entidad Prestadora de Servicios de Agua y Saneamiento Ayacucho (SEDA). Las muestras fueron tomadas en el afluente y efluente de cada PTAR. Se realizó la numeración de CF según la técnica de número más probable; la determinación de la DBO_5 se realizó usando el método respirométrico, utilizando un sensor electrónico de lectura directa; y la determinación de sólidos suspendidos totales, pH y temperatura se realizaron mediante las técnicas recomendadas por APHA, W. 1998. Los resultados indicaron que, en las PTAR de los distritos de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo, la remoción de CF fue del 97,95 %, 99,89 %, 94,63 % y 98,84 %, respectivamente, cuyos resultados fueron deficientes con relación al parámetro de diseño (99,999 %); y, para la DBO_5 fue del 17,32 %, 11,48 %, 57,14 % y 48,71 %, respectivamente. Concluyendo que la capacidad de remoción de las cuatro PTAR evaluadas, son deficientes para CF y DBO_5 debido a que no alcanzan los porcentajes de remoción recomendados para que dichas plantas de tratamiento cumplan con límites máximos permisibles para efluentes domésticas según el D.S. N° 003-2010-MINAM, a pesar que en algunos parámetros se encuentran por debajo de los LMPs.

Palabras clave: Capacidad de remoción, coliformes fecales (CF), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación surge en respuesta a la falta de información de la composición físico química y microbiológica de las aguas residuales que son dispuesta a los medios naturales, provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de las poblaciones rurales del país, y los distritos de la provincia de Huaytará región Huancavelica no es ajeno a esta realidad; por ello, es importante saber si una planta de tratamiento de aguas residuales cumplen con la remoción eficiente de contaminantes, de lo contrario se pueden generar consecuencias negativas de tipo ambiental y de la misma manera afectar en la salud de las personas.

Por mucho tiempo el gobierno y las empresas prestadoras de servicio (EPS) invierten altas cantidades de dinero en la elaboración de proyectos y la construcción de diversas plantas de tratamiento de desagües (PTAR) en nuestro país; sin considerar aspectos importantes tales como la característica típica del desagüe crudo o la capacidad de eliminación o remoción de los principales contaminantes. Razón por la cual el funcionamiento de estas plantas de tratamiento no han logrado satisfacer las condiciones mínimas exigidas por la normativa definida en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para aguas efluentes que son vertidos a diversos cuerpos de agua receptores; al extremo que, en algunos casos, y con gastos presupuestales importantes, fueron necesarios su reestructuración, para asegurar un mejor rendimiento (Quispe et al., 2019).

En los últimos años el gobierno peruano a través de los gobiernos locales han ejecutado proyectos de agua y desagüe con plantas de tratamiento (PTAR), en las zonas rurales del país, los cuales ha generado que, dichas aguas residuales sean vertidas a los cuerpos receptores, sin tener conocimiento de la capacidad de remoción de contaminantes de dichas plantas de tratamiento, lo cual se

estaría poniendo en riesgo la salud de los habitantes, ya que dichas aguas pueden y son usadas para el riego de vegetales de tallos cortos y para la bebida de los animales, en su gran mayoría; razón por la cual se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno en plantas de tratamiento de aguas residuales de distritos rurales de la provincia de Huaytará – Huancavelica 2021-2022.

Objetivos específicos

1. Evaluar la concentración de las bacterias coliformes fecales y DBO_5 en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales de la provincia de Huaytará – Huancavelica 2021-2022.
2. Comparar los resultados de los parámetros evaluados con los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de PTAR para aguas que son vertidas a cuerpos de agua, según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nivel internacional

En la investigación de la calidad microbiológica de desagües, procedentes de la PTAR Puchukollo – EPSAS, de la ciudad de El Alto, La Paz, Bolivia, se evaluó el número de bacterias coliformes totales y bacterias coliformes termotolerantes en aguas residuales crudas, obteniendo valores de bacterias coliformes totales de $1,4 \times 10^6$ NMP/100 mL y de bacterias coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) de $9,05 \times 10^4$ NMP/100 mL. Y en aguas residuales, luego del tratamiento, con bacterias coliformes totales de $5,8 \times 10^4$ NMP/100 ml y bacterias coliformes termotolerantes de $2,8 \times 10^3$ NMP/100 ml, concluyéndose que la planta funciona de manera deficiente para alcanzar una cantidad menor a 1 000 NMP/100 mL de bacterias coliformes termotolerantes (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, Ley 1333 del Medio Ambiente) (Carita, M. 2012).

2.1.2. Nivel nacional

En el estudio “Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba - Cajamarca alternativas para mejorar su tratamiento” el valor que alcanzó fue del 50 %, concluyéndose que este porcentaje de remoción no resultaría eficiente en lo referente a la eliminación de materia orgánica en términos de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, cuyos valores fueron de 23,20 y 27,63 % de remoción, respectivamente, valores muy bajos para este tipo de tratamiento, según la Norma Técnica de Edificación S.090 de año 2006, esta norma define que la eficiencia de remoción de la DBO_5 , de una PTAR debe encontrarse entre los 50 a 90 %, en cuanto a la capacidad de remoción de bacterias coliformes termotolerantes fue del 65,62%, por debajo del promedio de eficiencia para este parámetro, recomendado por la misma norma (Núñez, M. 2019).

En el estudio “Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín”, obtuvieron lo siguiente: para la DBO₅ se obtuvo un valor de concentración de 572,00 mg/L en aguas afluentes y 58 mg/L en aguas efluentes; para la DQO un valor de 1 207,25 mg/L en aguas del afluente y de 107,50 mg/L en aguas del efluente; en el caso de los sólidos sedimentables totales (SST) se determinó que contenían un 253,81 mg/L en aguas crudas y 42,64 mg/L en aguas tratadas; para pH los valores fueron de 8,08 en aguas de ingreso y de 6,80 en aguas de salida; y en cuanto a la temperatura, con 16,25 °C en aguas sin tratamiento y 17 °C en aguas tratadas. Con los valores reportados se corroboraron que éstos se encuentran dentro de los valores establecidos en los límites máximos permisibles (LMP) para que puedan ser dispuestas en cuerpos de agua receptoras, según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAN, indicándonos que la planta sometida al monitoreo posee una alta eficiencia, alcanzando un 91,5 % de remoción de DBO₅, 91 % de DQO y un 83,2 % para SST (Martínez et al., 2016).

En el estudio “Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020”, los parámetros evaluados *in situ* fueron los siguientes: pH 7,56, temperatura 20,1 °C, SST (sólidos sedimentables totales) 44 mg/L, DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno) 100 mg/L, DQO (demanda química de oxígeno) 209 mg/L y grasas y aceites 0,32 mg/L; estos valores no superan los valores establecidos en los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de una PTAR, según la normativa correspondiente. Respecto al número de bacterias coliformes termotolerantes fue de 11 000 NMP/100 mL, valor que excede al LMP definidos en el D. S. N° 003-2010-MINAM. Las características evaluadas en el río Macusani fueron: temperatura con 17,5 °C, pH 8,7, oxígeno disuelto 8,0 mg/L y conductividad eléctrica con un valor de 145 µS/cm, resultados que indican que cumplen con los ECA para agua de la categoría 4. Respecto a la remoción de la DBO₅ fue de 93,42 %, de la DQO 94,88 %, de SST 67,16 % y de bacterias coliformes termotolerantes del 77,55 % (Andrade et al., 2020).

En el estudio “Determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de la planta la encañada del periodo abril – agosto 2018” se determinó que la capacidad en el tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) La Encañada es nula, para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno

(DBO_5) la remoción es negativa (-23,8 %) mostrando que la materia orgánica se estaría incrementando durante el tratamiento en la planta, y para lo referente a la demanda química de oxígeno (DQO) se obtuvo el 25,8 % de capacidad de remoción, estos resultados indican que la PTAR no está cumpliendo con su objetivo de remover los contaminantes. Se determinaron, además, el pH, la concentración de sólidos suspendidos totales, número de bacterias coliformes termotolerantes, temperatura y aceites y grasas; los resultados fueron comparados con los valores establecidos como límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de una PTAR establecidos el en D. S. N° 003-2010 MINAM (Micha et al., 2018).

En su investigación “Control de los parámetros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de optimizar su funcionamiento, en la empresa minera Pan American Silver S.A.C. -Unidad Operativa Huarón”, obtuvo como resultado que los parámetros evaluados cumplen con los valores establecidos como límites máximos permisibles del D.S. N° 003-2010-MINAM, donde los resultados en la medición de pH, se obtuvo una media de ingreso de 8,39, y salida de 7,92; en la medición de temperatura, se obtuvo una media de ingreso de 10,7 y salida de 10,17 °C; en la medición de coliformes termotolerantes, se obtuvo una media de ingreso de $2,41 \times 10^4$ y salida de 3,53 NMP/100mL; en la medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), se obtuvo un valor medio de 65,15 y en la salida de 3,79 mg/L y finalmente en la medición de los sólidos suspendidos totales (SST), se obtuvo una media de ingreso de 21,35 y salida de 5,75 mg/L; con lo cual concluyeron que las mejoras realizadas en la planta sometida a evaluación, ha logrado optimizar el tratamiento alcanzando niveles muy por debajo de lo que la normativa ambiental exige (LMP del D.S. N° 003-2010, MINAM), garantizando el buen funcionamiento de la planta de tratamiento y cumpliendo con responsabilidad, que tiene la empresa, con sus compromisos ambientales (Díaz, J. 2018).

En la investigación “Capacidad de remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huamanga. Ayacucho, setiembre de 2011 a enero de 2012”, se constató que la mayoría de las PTAR evaluadas, no se encuentran operativas por deficiencias básicamente en su construcción, encontrándose que cuatro de las diez plantas cuentan con afluentes y efluentes, determinando en estos el porcentaje de remoción para coliformes fecales y demanda bioquímica de

oxígeno, reportando los valores más altos la planta de tratamiento del distrito de Jesús Nazareno “La Totora” con 99,993% y de 90,178% respectivamente y los resultados más bajos de 92,143% y 18,905% respectivamente para la planta del distrito de Pacaycasa – Huayapampa. Llegando a la conclusión que los efluentes de las cuatro PTAR no cumplen con los parámetros de los límites máximos permisibles para efluentes de PTAR domesticas según el D.S. N° 003-2010-MINAM para coliformes fecales y la planta del distrito de Pacaycasa-Huayapampa para la DBO₅ (Vásquez, S. 2012).

En la investigación “Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totora”, donde la capacidad de remoción de BCF de la PTAR “La Totora” fue del 99,9850 %, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de $1,29 \times 10^5$ NMP/100 ml, siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de <103 NMP/100 ml de BCF (agua de clase III, Ley General de Aguas D.L. 17752) se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99,9999%; en tanto que la remoción de la DBO₅ fue de 86,2%, evacuando efluentes con 46,35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95,5947 % (Aybar y Chuchón, 2005).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Eficiencia de remoción o capacidad de remoción

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje (Norma OS.090, 2009).

2.2.2. Coliformes totales y fecales

Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0,5 °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a 44.5 +/- 0,2 °C en 24 horas se denominan coliformes fecales ahora también denominados coliformes termotolerantes (Norma OS.090, 2009).

2.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos generalmente 5 días y a 20°C (Norma OS.090, 2009).

2.2.4. Contaminación del agua

La contaminación consiste en una modificación, generalmente, provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural (Gómez, M. 2011).

2.2.5. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que se producen de las acciones antropogénicas como resultado de las actividades diarias en zonas doméstica, comerciales, industriales y de servicios, las cuales pueden clasificarse en varios tipos: aguas residuales de tipo doméstico, municipal e industrial (Ding et al., 2019).

2.2.6. Aguas residuales domésticas

Son aquellas provenientes de las actividades domésticas cotidianas como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos y limpieza, por lo cual son principalmente una combinación de heces humanas, heces de animales, orina y agua gris (Mara y Cairncross, 2000).

2.2.7. Aguas residuales industriales

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (Norma OS.090, 2009).

2.2.8. Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Norma OS.090, 2009).

2.2.9. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Son un conjunto de estructuras que se encarga del proceso de tratamiento aguasresiduales, es aquí donde los sólidos y líquido que contiene son separados parcialmente, de esta manera, el resto de los sólidos orgánicos complejos quedan convertidos en sólidos minerales relativamente estables (Romero, J. 2004).

La Norma OS.090 define que una PTAR es una infraestructura que permite el proceso de la depuración de aguas residuales.

2.2.10. Afluente

Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Norma OS.090, 2009).

2.2.11. Efluente

Líquido que sale de un proceso de tratamiento (Norma OS.090, 2009).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Eficiencia

Tenemos dos definiciones sobre la eficiencia; eficiencia propiamente dicho y eficiencia en una PTAR; la eficiencia es el uso óptimo y adecuado de los recursos, gestionando y utilizando de la manera más adecuada los recursos que tenemos. En un contexto organizacional, en el área de producción es muy utilizada esta palabra, debido a que, al ser eficientes en el manejo de los recursos, aumentamos la producción con la misma cantidad de materia prima y eso, es uno de los principios fundamentales de la productividad” (Mejía, J. 2014).

Por otro lado, la eficiencia es un término utilizado para referirse a lo que una planta de tratamiento de aguas residuales estaría funcionando u operando en las mejores condiciones (al 100 %) considerando además adecuados niveles de mantenimiento. Las aguas tratadas tienen una calidad físico- química y bacteriológica muy buenas que posibilitan el reúso, según la normativa correspondiente, sin ocasionar riesgos para la salud (Montenegro, J. 2016).

2.3.2. Remoción de bacterias coliformes fecales o termotolerantes

Las bacterias coliformes termotolerantes o fecales y en particular la *Escherichia coli*, fueron seleccionadas como indicadoras de contaminación con heces fecales por su relación con el grupo bacteriano tifoide y paratifoide y a su presencia en alto número en diferentes tipos de muestras que contienen heces fecales. Las bacterias coliformes termotolerantes son un subgrupo de las bacterias coliformes totales, con capacidad de fermentar la lactosa a una temperatura de 44.5°C. Alrededor del 95 % de las bacterias coliformes presentes en heces fecales corresponde a *Escherichia coli* y ciertas especies del género *Klebsiella*. La figura de que los coliformes fecales se encuentran mayormente y casi exclusivamente en las heces de animales homeotermos, se consideran que evidencian mejor la contaminación fecal. Los coliformes fecales se llaman también como termotolerantes por la capacidad de tolerar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente en el mundo científico, pues parece ser que una forma más apropiada de definir este subgrupo, que se diferencia de los coliformes totales que no tienen la capacidad de crecer a una temperatura alta. Para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales deben de usarse el número de

coliformes fecales. Solamente deberá recurrirse a la numeración de los coliformes totales si no hay condiciones para cuantificar los coliformes termotolerantes o fecales (Campos, 2003).

La remoción esperada para bacterias coliformes fecales, en plantas de tratamiento de desagües municipales a través del sistema lagunas de estabilización es de 99.9999% (Rozano, E. 1995).

Para plantas de tratamiento de aguas residuales con biofiltros o filtros percoladores es de 95% (Yañez, F. 1995).

2.3.3. Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Para determinar la concentración de materia orgánica biodegradable, en desagües de origen doméstico, el parámetro utilizado es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y representa el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos presentes en el agua residual para efectuar la oxidación de toda la materia orgánica presente (Marsillini, A. 2003).

En las aguas residuales de origen doméstico la DBO₅ fluctúa entre los 200 a más mg/L. La norma peruana vigente indica que, un nivel permitido, en aguas efluentes, del valor de la DBO₅ es de 150 mg/L. El valor de la DBO₅ es un indicador que muestra el grado de contaminación del agua, donde, los valores de 0 a 20 mg/L es agua pura, de 20 a 100 mg/L levemente contaminada, de 100 a 500 mg/L medianamente contaminada, de 500 a 3000 mg/L muy contaminada y de 3000 a 15000 mg/L extremadamente contaminada (Rivera et al, 1995).

La eficiencia de remoción esperadas, para la DBO₅ en lagunas aeróbicas van de 65 % a 75 %, en lagunas anaeróbicas van de 20 % a 60 % y en lagunas facultativas van de 60 % a 85 % (Rozano, E. 1995).

Mientras que en plantas de tratamiento de aguas residuales con filtro percolador la remoción esperada para la DBO₅ es de 80 % a 93 % (Von, M.1996).

2.3.4. Aguas servidas o residuales

La humanidad ha hecho uso del agua para su consumo, con el correr del tiempo, también lo usa para su confort y comodidad, convirtiendo este recurso en aguas usadas que se comporta como un vehículo de desecho. Así surge la denominación de aguas servidas o residuales (Aguirre, P. 2004).

La OEFA (2014) definió a las aguas residuales como “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”.

2.3.5. Contaminantes a tener en cuenta en el tratamiento o purificación de las aguas residuales

En la tabla 1 se señalan y describen los principales contaminantes a tener en cuenta en la purificación de las aguas residuales (monitoreo del funcionamiento de una PTAR) y las normas relacionadas con la regulación los procesos de tratamiento secundario, en base a la eficiencia, remoción o eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes. La gran mayoría de las normas establecidas en las últimas décadas, son más exigentes, que incluyen la evaluación de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios (DBO₅, DQO, SST, bacterias coliformes termotolerantes, parásitos) cuando se pretende reutilizar el agua residual efluente de la PTAR. Las exigencias incluyen, además, la eliminación de metales pesados, compuestos orgánicos refractarios e incluso sólidos inorgánicos disueltos (Metcalf y Eddy, 1995).

Tabla 1. Principales contaminantes de importancia en la purificación del agua residual.

| Contaminantes | Razón de la importancia |
|--------------------------------|--|
| Sólidos en suspensión | Ocasionan la acumulación de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando son dispuestas sin previo tratamiento al entorno acuático. |
| Materia orgánica biodegradable | Constituida básicamente por carbohidratos, proteínas, y grasas; la materia orgánica biodegradable es medida, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno) como materia orgánica total. Su descarga al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas. |
| Patógenos | El agua residual doméstico puede contener microorganismos patógenos y así propagar enfermedad infecta contagiosa. |
| Nutrientes | El nitrógeno y el fósforo, así como el carbono orgánico, esenciales para de todo ser vivo. Cuando los desagües que contienen altos niveles de estos nutrientes son vertidas al entorno acuático favorecen la propagación de una vida acuática no deseada. Cuando son dispuestas al terreno en cantidades considerables, provocan la contaminación de aguas subterráneas. |
| Contaminantes prioritarios | Son sustancias químicas, orgánicas o inorgánicas, considerados como carcinógenos, mutagénicos, teratogénico o con toxicidad aguda conocida o sospechosa. Muchos de estos se hallan presentes en el agua residual. |
| Materia orgánica refractaria | Son sustancias orgánicas que tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento o degradación. Ejemplos: fenoles, agentes tenso activos, y pesticidas. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Sales de calcio y sodio y los sulfatos son añadidos en el sistema de potabilización de agua, éstos pueden estar presentes en el desagüe en cantidades considerables, y, si estas aguas son reutilizadas deben de ser removidas. |

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995).

2.3.6. Principales parámetros de caracterización de aguas residuales en estudio

2.3.6.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Representa la cantidad o la concentración de oxígeno disuelto (expresado en ppm o mg/L) requerido para la degradación de la materia orgánica biodegradable por microorganismos, bajo condiciones de laboratorio (*in vitro*), en un lapso de 5 días, a una temperatura constante de 20°C y en agitación constante. Mide el grado de contaminación con materia orgánica en desagües. Es frecuente referirse simplemente como DBO₅. Como “la prueba DBO₅ es esencialmente un sistema microbiano de crecimiento, la mezcla de microorganismos utilizados debe contenerlos tipos capaces de metabolizar las sustancias presentes en la muestra de agua residual (Noyola et al., 2013).

La oxidación de los contaminantes en la muestra se efectúa usando un agente químico oxidante, los de uso más común son el permanganato ácido de potasio, el dicromato ácido y el oxígeno a altas temperaturas” (Comisión Nacional del Agua, 2013).

2.3.6.2. Temperatura

La temperatura en cualquier tipo (natural o en PTARs) representa el grado calorífico que influye de manera directa en el metabolismo de los seres vivos, influyendo en las reacciones bioquímicas y la cinética de las reacciones, que varían a lo largo del tiempo, dependiendo de la estación del año; sin embargo, en los desagües que discurren por el sistema de alcantarillado, puede ser mayores y constantes, respecto a lo que ocurren en las aguas de los cuerpos de aguas naturales superficiales. La temperatura es un factor que afecta directamente los procesos bioquímicos, porque todas las reacciones enzimáticas involucradas en el metabolismo de las bacterias dependen de la temperatura, interfiriendo en la velocidad de las mismas. A temperaturas bajas, la actividad es lenta, por el contrario, a temperaturas altas la velocidad se incrementa, siempre dentro de un cierto rango (Comisión Nacional del Agua, 2013).

2.3.6.3. pH (potencial de hidrógeno)

Es un factor de gran importancia, cuyo valor no apropiado en los desagües puede generar inconvenientes en la purificación por procesos biológicos; del mismo modo, el pH inadecuado del fluente de las PTARs, influye negativamente en la concentración del ion hidrógeno en las aguas naturales receptoras, situación que justifica la importancia de su determinación (Ocola, J. 2015).

2.3.6.4. Bacterias coliformes termotolerantes o coliformes fecales (CF)

Las bacterias coliformes termotolerantes (CF), denominadas así por su capacidad de tolerar temperaturas altas hasta de 45°C, agrupan un número de bacterias, las cuales son indicadoras de calidad por su origen (habitan el tracto digestivo de animales de sangre caliente). Mayormente están representados por *Escherichia coli*, acompañados de especies menos frecuentes como *Klebsiella pneumoniae* y *Citrobacter freundii*. Estas últimas también forman parte del grupo de los coliformes termotolerantes, pero su origen normalmente no es fecal (fuentes de agua, vegetación y suelos) y solo en raras ocasiones forman parte del microbiota gastrointestinal; por la cual, algunos científicos plantean que el término de coliformes fecales, muy frecuentemente utilizado, debe ser reemplazado por el término o frase coliformes termotolerantes (Ocola, J. 2015).

2.3.6.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

Este parámetro es usado en la evaluación de las características físicas de los afluentes de una PTAR y determina la importancia de removerlo de las aguas efluentes antes de su utilización; los sólidos volátiles está representada por la materia orgánica y los sólidos fijos representan los residuos inorgánicos; y, para Metcalf y Eddy (1998), los sólidos suspendidos, junto con la DBO₅, son los dos parámetros universales usados en la evaluación de afluentes y señalan la necesidad de filtrar el efluente antes de su reúso. El MINAM, (2010) determina que los valores para los SST permitido para efluentes es de 150 mg/L como máximo (Rodier, J. 1981).

2.3.7. Tratamiento de aguas residuales

El mantener la alta calidad del agua significa que las aguas naturales no pueden ser contaminadas o sobrecargadas con nutrientes orgánicos e inorgánicos o con compuestos tóxicas o inaceptables desde el punto de vista ético (Altas y Bartha, 2002). La autodepuración como fundamento del tratamiento de aguas residuales significa que los microorganismos acuáticos heterótrofos utilizan y mineralizan los nutrientes orgánicos (Norma OS.090, 2009).

El amonio sufre un proceso de nitrificación y junto con otros nutrientes inorgánicos, son inmovilizados o utilizados por las algas y las plantas acuáticas. Las bacterias entéricas y otros patógenos se reducen en número y son eliminados por competencia y de predación ejercida por las poblaciones microbianas acuáticas autóctonas (Atlas y Bartha, 2002).

La autodepuración ocurre naturalmente en los cuerpos de agua, sucede gracias a la presencia a una diversidad de microorganismos como bacterias, algas y otros, que son los encargados de degradar los contaminantes, transformándolos en sustancias simples como el dióxido de carbono, nitrógeno molecular, agua, entre otros, además ciertos microorganismos que absorben algunas sustancias inorgánicas.

El proceso de tratamiento de aguas residuales se divide en las siguientes etapas: preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado (Norma OS.090, 2009).

2.3.7.1. Tratamiento preliminar o Pre tratamiento

Es una etapa de tratamiento que involucra la eliminación de materiales gruesos, cuerpos grandes y arenosos que acarrea las aguas residuales, cuya presencia perturbaría el tratamiento y el funcionamiento eficiente de las maquinarias, equipos e instalaciones de la planta de tratamiento. En el pre tratamiento se hace uso rejas para retener y extraer los materiales de gran tamaño y un tamizado para remover materiales en suspensión. Es parte también un desarenador, para remover arenas y sustancias sólidas densas y un sistema o trampa que retiene aceites para su retiro, este sistema ayuda también eliminar elementos flotantes (FONAM, 2010).

2.3.7.2. Tratamiento primario

Esta etapa es básicamente de tipo físico que en algunos casos puede estar combinado por un proceso biológico, el tratamiento consiste básicamente en la remoción de los sólidos suspendidos, mediante sedimentación o floculación, y la neutralización de la acidez o alcalinidad excesiva y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. Entre los principales procesos del tratamiento primario se tienen:

2.3.7.2.1. Tanques de sedimentación

Se denominan tanques de sedimentación, a las estructuras que reciben aguas residuales crudas. El objetivo principal del proceso de sedimentación primaria es eliminar los sólidos que son sedimentables por atracción gravitatoria, además son removidas la carga orgánica asociada a dichos sólidos. Las formas de los tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadradas (Romero, J. 2004).

La sedimentación primaria es una de las etapas más usadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya sea como tratamiento único o como tratamiento antes del tratamiento biológico o secundario. Es necesario mencionar que las variaciones bruscas de temperatura del agua, así como las

características de cada agua residual puede afectar considerablemente la eficiencia del tanque en la remoción de sedimentables (Romero, J. 2004).

2.3.7.2.2. Tanques Imhoff

Esta estructura tiene la finalidad de remover los sólidos suspendidos, este sistema brinda ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación de los sólidos y la digestión anaerobia de los lodos sedimentados en la misma unidad, por esta razón son denominados también como tanques de doble cámara; para su funcionamiento es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de pretratamiento (Romero, J. 2004).

La estructura del tanque Imhoff, típicamente, es de forma rectangular y presenta tres compartimientos o cámaras: cámara de sedimentación (superior), cámara de digestión de lodos (inferior) y área de ventilación y acumulación de natas (laterales) (FONAM, 2010).

2.3.7.2.3. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

Es un tipo de tratamiento donde la biomasa microbiana permanece como una película adherida (biopelícula) y cuenta con un el flujo de agua de manera ascendente, el riesgo de obstrucción es mínimo. Está conformado por un tanque o columna, relleno con un lecho sólido que sirve de soporte para el crecimiento biológico anaerobio. El agua residual entra en contacto con la biomasa microbiana (principalmente bacteriana) adherido al medio y como las bacterias están adheridas al lecho o soporte no sales con el efluente. Los filtros anaerobios, también conocidos como RAFA también son útiles para desnitrificar efluentes ricos en nitritos o como pretratamiento en las plantas de purificación de aguas (Romero, J. 2004).

2.3.7.2.4. Digestión de lodos (primaria)

Luego del proceso de decantación se generan lodos que están compuestos por agua y sólidos. Estos lodos pueden entrar inmediatamente en putrefacción y generar olores desagradables, razón por la cual, la digestión de los lodos primarios requiere de sistemas que garanticen tiempos de retención de sólidos superiores a 25 días cuando se tiene aguas residuales con temperaturas promedio entre los 20- 25°C (FONAM, 2010).

2.3.7.3. Tratamiento secundario

El objetivo primordial del tratamiento secundario o biológico es la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales, que no fueron removidos en las fases de pre tratamiento y tratamiento primario. El tratamiento biológico o

secundario fue diseñado tomando en cuenta el proceso biológico de autodepuración, que ocurre en los cuerpos de agua naturales. En el tratamiento secundario, la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales domésticas son nutrientes para la población microbiana presente a la cual se le proporciona oxígeno y demás condiciones controladas, por lo tanto, el tratamiento secundario es por tanto un proceso de oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias con el fin de acelerar un proceso natural y disminuir o evitar la presencia posterior de contaminantes y el agotamiento de oxígeno en los cuerpos de agua receptores (FONAM, 2010).

La biomasa microbiana, representada principalmente por bacterias debe estar sobre un lecho fijo, con superficies inertes (piedras, material cerámico o plástico) o suspendidas en el agua a tratar, siendo estos de lecho móvil o lecho fluidizado (FONAM, 2010).

2.3.7.3.1. Biofiltros

Conocidos también como filtros percoladores, tiene por finalidad remover la materia orgánica en aguas residuales de origen doméstica o industrial. Este sistema está constituido por un depósito relleno con piedras u otro medio natural o sintético que funciona a manera de lecho, sobre los cuales se aplican las aguas residuales, con el consiguiente crecimiento de microorganismos en forma de una biopelícula sobre el lecho. Para percolar las aguas residuales son regadas sobre el filtrante y se deja recorrer por gravedad, el lecho consiste en un medio permeable al cual se adhieren los microorganismos y a través del ello el líquido se infiltra (Romero, J. 2004).

2.3.7.3.2. Lagunas aireadas

Son grandes embalses con aguas residuales que a su vez ocupan grandes extensiones de terreno, por lo que, este tipo de sistema de tratamiento es empleado cuando los terrenos del lugar tienen bajo costo. El agua servida dispuesta en la laguna es oxigenada mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para que las bacterias degraden la materia orgánica mediante metabolismo aerobio. Estos aireadores generan una turbulencia manteniendo la materia orgánica en suspensión. Se requieren entre 3 a 6 días como tiempo de retención del agua residual, tiempo requerido para que las bacterias realicen un crecimiento acelerado, afectado por las condiciones climáticas y oxigenación suficiente. Los altos valores del pH y el oxígeno molecular presentes en las aguas en horas más iluminadas del día, son el producto de la actividad fotosintética de las algas ahí presentes (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.3.7.3.3. Proceso de lodos activos

Es un sistema con crecimiento microbiano suspendido; seguido a la sedimentación (tratamiento primario), las aguas residuales que contienen compuestos orgánicos coloidales y disueltos, son introducidas en un tanque de aireación. El tanque se oxigena por agitadores mecánicos o inyección de aire. El metabolismo microbiano se mantiene a altos niveles por reintroducción de parte de lodo sedimentado en un sedimentador posterior, de ahí el nombre del proceso. En el proceso de tratamiento en el tanque de aireación, ocurre un crecimiento vigoroso de microorganismos heterótrofos, con predominio de bacterias Gram negativas. Las bacterias en suspensión pueden encontrarse aisladas o agrupadas en flóculos. Estas bacterias mineralizan parte de los compuestos orgánicos disueltos, la otra parte es transformada en biomasa microbiana (Atlas y Bartha, 2002).

2.3.7.3.4. Procesos anaerobios

Son procesos microbiológicos que acontecen en un recipiente hermético, donde realizan la digestión anaerobia de la materia orgánica con la consecuente producción del gas metano. En este proceso intervienen diversos tipos de microorganismos, principalmente bacterias. Los tratamientos anaerobios de depuración de aguas residuales son procesos más lentos y las aguas son tratadas en un sistema en ausencia de luz, oxígeno y movimiento. En algunos sistemas de este tipo de procesos se pueden rescatar un aporte de la energía como el biogás. Las ventajas principales son: generalmente la instalación menos costosa y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que, el proceso es menos costoso con requerimientos energéticos menores (Atlas y Bartha, 2002).

El tanque séptico consiste en uno o varios compartimientos en serie de sedimentación de sólidos. Se caracteriza porque ambos procesos, la sedimentación y la digestión, ocurren dentro de un mismo tanque, acondicionando las aguas residuales para su disposición subsuperficial. El tanque séptico debe ser completamente hermético, de material no corrosivo como el concreto, material cubierto, arcilla vitrificada, etc. (Romero, J. 2004).

Las funciones de los tanques sépticos es remover los sólidos suspendidos y el material flotante, realiza la digestión anaerobia de los lodos sedimentados, almacena los lodos y los materiales flotantes; en el que la remoción de la DBO en un puede alcanzar un 30 al 50%, grasas y aceites del 70 a 80%, de fósforo en 15% y de 50 al 70% de sólidos suspendidos (Romero, J. 2004).

2.3.7.4. Tratamiento terciario

Es de tipo biológico y químico, es una etapa final que permite aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). El objetivo principal es la eliminación de contaminantes orgánicos no biodegradables (clorfenoles, difenilspolichlorados y otros contaminantes sintéticos) y de nutrientes minerales no biodegradables. El tratamiento terciario es justificado por la alta toxicidad potencial de estos compuestos (Atlas y Bartha, 2002).

2.3.7.4.1. Filtración

La más aplicada es la filtración en lecho de arena, que remueve gran parte de los restos de material suspendida. El carbón activado, también usado en el proceso, remueve los compuestos tóxicos residuales (FONAN, 2010).

2.3.7.4.2. Laguna terciaria

El tratamiento avanzado o terciario por lagunas proporciona la estabilización añadida necesaria y provoca la mejora biológica de almacenaje en lagunas artificiales. El sistema imita los procesos de autodepuración que ocurre en un río o lago de forma natural. Los invertebrados presentes tales como Daphnia y Rotíferos actúan como filtros pequeños, el lagunaje es barato y fácil de mantener, presenta el inconveniente de requerir gran cantidad de espacio y de ser poco eficientes para depurar las aguas de grandes núcleos (FONAN, 2010).

2.3.7.4.3. Desinfección

Es la etapa final en el proceso de depuración de las aguas residuales, diseñada para eliminar microorganismos y virus entero patógenos que no han podido ser eliminados durante las etapas previas del tratamiento. Generalmente se realiza por cloración, con cloro gas (Cl_2) o hipoclorito de sodio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$ o NaOCl). El cloro y el hipoclorito reaccionan con el agua para formar ácido hipocloroso o ion hipoclorito y ácido clorhídrico que finalmente son sustancias microbicidas (Atlas y Bartha, 2002).

Tabla 2. Unidades operacionales de las PTARs* en distritos rurales Huaytará-Huancavelica.

| DISTRITO | PLANTA DE TRATAMIENTO | PRE-TRATAMIENTO | TRATAMIENTO PRIMARIO | TRATAMIENTO SECUNDARIO | TRATAMIENTO Terciario | OTROS | CUERPO RECEPTOR |
|------------|-----------------------|--|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Cusicancha | PTAR Cusicancha | Cámara de rejas Distribuidor de caudales Desarenador | Tanques Inhoff1 und. | Biofiltro1 und. | Desinfección Clorador porgoteo | Lecho de secado para lodos 1 und. | Río Sacsaquero |
| Huayacundo | PTAR Huayacundo | Cámara de rejas Distribuidos de caudales Desarenador | Poza de sedimentación | Laguna de oxidación | | | Río Sacsaquero |
| Huaytará | PTAR Huaytará | Cámara de rejas Distribuidos de caudales | Tanques inhoff1 und. | Laguna de oxidación | | | Río Chacapampa |
| Pilpichaca | PTAR Pilpichaca | Cámara de rejas Distribuidos de caudales desarenador | Poza de sedimentación | Laguna de oxidación | | | Río Pilpichaca |

- *PTARs: plantas de tratamiento de aguas residuales

2.4. Marco legal

2.4.1 El D.S. N° 004-2017-MINAM aprueba los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) y establece disposición complementaria

Es importante investigar acerca de las condiciones de las aguas residuales tratadas que se descargan a un receptor, poniendo en riesgo la salud de la población, cuando son usadas para el riego de vegetales de tallo corto y para bebida de animales; según el Artículo 4° de la clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales, referido a la aplicación de los (ECA) Estándares de Calidad Ambiental para aguas no categorizadas. Mientras, la autoridad pertinente no haya asignado una categoría definida a un cuerpo natural de agua a mediante el proceso de clasificación, se aplica la categoría del cuerpo de agua al que este es vertida, previo análisis de esta autoridad, conforme a lo previsto en la tercera disposición complementaria transitoria del indicado decreto supremo.

2.4.2 LMP (límites máximos permisibles) para efluentes de plantas de tratamiento de desagües de origen doméstico según D.S. N° 003-2010-MINAM

Se requiere que la eliminación final de las aguas residuales no altere la calidad del cuerpo receptor, por lo tanto se exige mejorar la eficiencia en su tratamiento y la necesidad de realizar su evaluación para conocer el nivel de remoción de la carga contaminante en el proceso. Las composición de las aguas residuales deben cumplir con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D. S. N° 003-2010-MINAM antes de ser dispuestos en un cuerpo de agua receptor, la importancia de realizar este trabajo es determinar si el tratamiento que se realiza es eficiente y logra eliminar satisfactoriamente los contaminantes; esto se logrará evaluando los parámetros físico químicos y biológicos cuyos resultados serán comparados con los LMP según la normativa peruana.

Tabla 3. Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

| Parámetro | Unidad | LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua |
|-------------------------------|------------|--|
| Aceites y grasas | mg/L | 20 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100 ml | 10,000 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 100 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 200 |
| pH | unidad | 6.5-8.5 |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 150 |
| Temperatura | °C | <35 |

Fuente: Diario El Peruano

2.4.3 Norma OS.090: planta de tratamiento de aguas residuales

La Norma OS.090 define las instalaciones que contempla una planta de tratamiento de aguas residuales y los procesos a los cuales deben de ser sometidas antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización; el objetivo principal es normar la elaboración de proyectos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en todos sus niveles (preliminar, básico y definitivo).

Según decreto supremo N° 022-2009-Vivienda, modifican dicha norma en el artículo 1°, donde incorporan subnumeral 3.139 al numeral 3. Definiciones de la norma técnica OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales del reglamento nacional de edificaciones; de la misma manera modifican artículo 2° en el subnumeral 3.61 emisario submarino.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Población objetivo de estudio

3.1.1. Ubicación

En la presente investigación los muestreos se realizaron de las aguas de las plantas de tratamiento de desagües de los distritos de Cusicancha, Huayacundo, Huaytará y Pilpichaca, provincia de Huaytará, región Huancavelica. (Anexo 14).

Los análisis de coliformes termotolerantes o fecales, se realizaron en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; mientras que los análisis de DBO₅ se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Totorá de propiedad de SEDA Ayacucho; ambos laboratorios ubicados en la ciudad de Ayacucho.

3.1.2. Puntos de muestreo

Se realizaron muestreos de los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los distritos de Cusicancha, Huaytará, Huayacundo y Pilpichaca de la provincia de Huaytará, región Huancavelica; estableciéndose de esta manera dos puntos de muestreo por planta.

Tabla 4. Coordenadas de los puntos de muestreo en cada planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de distritos rurales de la Provincia de Huaytará – Huancavelica.

| PTAR | COORDENADAS (UTM) | | | |
|------------|-------------------|-----------------|----------|-----------------|
| | AFLUENTE | | EFLUENTE | |
| HUAYTARÁ | Este Norte | : 459914 | Este | : 459619 |
| | Norte | : 8496609 | Norte | : 8496630 |
| | Altitud | : 2458 m.s.n.m. | Altitud | : 2315 m.s.n.m. |
| PILPICHACA | Este Norte | : 503777 | Este | : 503854 |
| | Norte | : 8525723 | Norte | : 8525531 |
| | Altitud | : 4053 m.s.n.m. | Altitud | : 4049 m.s.n.m. |
| CUSICANCHA | Este Norte | : 468108 | Este | : 468168 |
| | Norte | : 8506991 | Norte | : 8506948 |
| | Altitud | : 3223 m.s.n.m. | Altitud | : 3211 m.s.n.m. |
| HUAYACUNDO | Este Norte | : 465445 | Este | : 465347 |
| | Norte | : 8503851 | Norte | : 8503841 |
| | Altitud | : 2923 m.s.n.m. | Altitud | : 2904 m.s.n.m. |

3.1.3. Número de muestras y frecuencia de muestreos

Para los análisis de coliformes fecales, DBO₅ y SST se tomaron un total de 192 muestras, donde la mitad corresponden a los afluentes y la otra mitad a los efluentes. Se realizaron 2 muestreos por mes, durante los meses de noviembre, diciembre de 2021 y enero, febrero de 2022.

3.1.4. Muestreo

Los muestreos de los afluentes y efluentes se realizaron teniendo en cuenta las medidas de bioseguridad, para lo cual fue necesario el uso de guantes descartables y mascarilla, y para la toma de muestra fue necesario un envase de plástico de boca ancha sujetado a un listón, dichas muestras se colocaron en frascos de plásticos de 1000 mL para el análisis de DBO₅ y en frascos de vidrio de 250 mL para el análisis de coliformes fecales, todos ellos debidamente estériles.

Los muestreos se realizaron entre las 6 y 12 horas, las muestras fueron rotuladas de acuerdo a la zona y lugar de muestreo, finalmente empacadas en bolsas plásticas y colocadas entre bloques de hielo dispuestas en un *cooler* para su transporte inmediato y procesamiento en el laboratorio, para lo cual el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis fue de 6 a 8 horas aproximadamente.

3.2. Determinación de coliformes termotolerantes o fecales

3.2.1. Técnica tubo múltiple de fermentación o número más probable (NMP)

Para la determinación del número más probable (NMP/100 ml) de coliformes termotolerantes, se procedió con la preparación de diluciones decimales de la muestra, debido a que la concentración de bacterias coliformes es alta.

Procedimiento de dilución:

- Con los cuidados de asepsia y con la ayuda de una pipeta estéril, se transfirió 10 mL de la muestra a un frasco conteniendo 90 mL de agua peptonada estéril, lo que correspondió a la primera dilución decimal (10-1), siendo que un mL de la misma contiene 0,1 mL de la muestra (primer frasco).
- El primer frasco se homogenizó por agitación manual, y de esta, y con otra pipeta esterilizada, se transfirió 10 mL a otro frasco conteniendo 90 mL de agua peptonada estéril (segundo frasco), la segunda dilución decimal (10-2), siendo que 1 mL de la misma contenía 0,01 ml de la muestra.
- Se procedió de la misma forma hasta la secuencia de diluciones deseadas.
- Para muestras de los afluentes se realizaron diluciones de 10-4, 10-5, 10-6 y para muestras de los efluentes se prepararon diluciones de 10-3, 10-4, 10-5.

Prueba presuntiva:

- El contenido de las tres últimas diluciones, según el caso: afluentes o efluentes, fueron sembrados en cinco tubos conteniendo 10 mL de caldo lauril sulfato triptosa cada tubo y conteniendo cada uno de ellos campanas de Durham, un mL a cada uno de ellos y de cada dilución, haciendo un total de 15 tubos sembrados.
- Los cultivos fueron incubados a 35 ± 2 °C durante 24 – 48 horas.
- Se realizó la primera lectura de la prueba transcurrido las 24 horas; la producción de gas en los tubos de fermentación se tomó como resultado positivo. Los tubos negativos se incubaron por 24 horas adicionales, luego se hicieron las lecturas finales.

Prueba de confirmación:

- Se seleccionaron los tubos positivos de la prueba presuntiva (caldo lauril sulfato triptosa), de tres diluciones consecutivas que incluyan la serie que tenga el mayor número de positivos y las series de las dos diluciones subsiguientes.
- De los tubos positivos se sembraron, una asada, en tubos con caldo EC, de cada tubo positivo a un tubo con caldo EC (si en la prueba presuntiva se tienen 8 tubos positivos, estos fueron inoculados a 8 tubos con caldo EC y cada tubo dispuestos con su correspondiente campana de Durham.
- Los tubos inoculados fueron incubados, en baño María, a 44,5 °C durante 24 horas.
- Se realizó la lectura (confirmativa), considerando como positivo los tubos de fermentación en los cuales se observó la producción de gas.
- Se anotó el número de tubos confirmados como positivos.
- Los resultados fueron llevados a la tabla del NMP para el cálculo del número más probable (NMP/100 mL) de coliformes termotolerantes.

3.3. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se utilizó el método respirométrico haciendo uso de un sensor electrónico de oxígeno de lectura directa (OXITOP). Para obtener los valores numéricos y el resultado final se reportó después de los 5 días en miligramos por litro de DBO (mg/L de DBO₅). Método que a continuación se detalla.

- Se colocaron 365 ml de muestras en los frascos de color caramelo.
- Se colocaron también en las botellas, dos graneas de NaOH.
- Se colocó el sensor.

- Se pusieron a incubar los frascos a 20 °C.
- Se realizó la lectura después de cinco días de incubación.

3.4. Determinación de sólidos totales en suspensión (SST)(Apha, W. 1998)

Se realizó la filtración al vacío de 250 mL de muestra con papel de fibra de vidrio previamente pesado, se secó a 103-105 °C y se pesó la diferencia de peso obtenida expresada en mg/L representa los sólidos en suspensión totales, y según la formula siguiente se determinó la cantidad de sólidos totales en suspensión por litro de agua.

$$mg \text{ de SS/L} = \frac{(A - B)}{mL \text{ de muestra}} \times 1000$$

Dónde:

A = peso del filtro + residuo seco (mg)

B = peso del filtro (mg)

3.5. Determinación del pH y temperatura (Apha, W. 1998)

La temperatura fue medida *in situ*, con ayuda de termómetro ambiental, realizando las mediciones en cada momento del muestreo.

El pH fue determinado con la ayuda de un pHmetro digital, con un electrodo específico de pH, parámetro evaluado *in situ*, a la par de la medición de la temperatura.

3.6. Determinación de la capacidad de remoción

Para determinar la capacidad de remoción expresada en porcentaje de las plantas de tratamiento de aguas residuales, en los parámetros de coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno y solidos sedimentables totales se empleó la siguiente formula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(C. \text{afluyente} - C. \text{efluente})}{C. \text{afluyente}} \times 100$$

Dónde:

C = representa la concentración del parámetro

IV. RESULTADOS

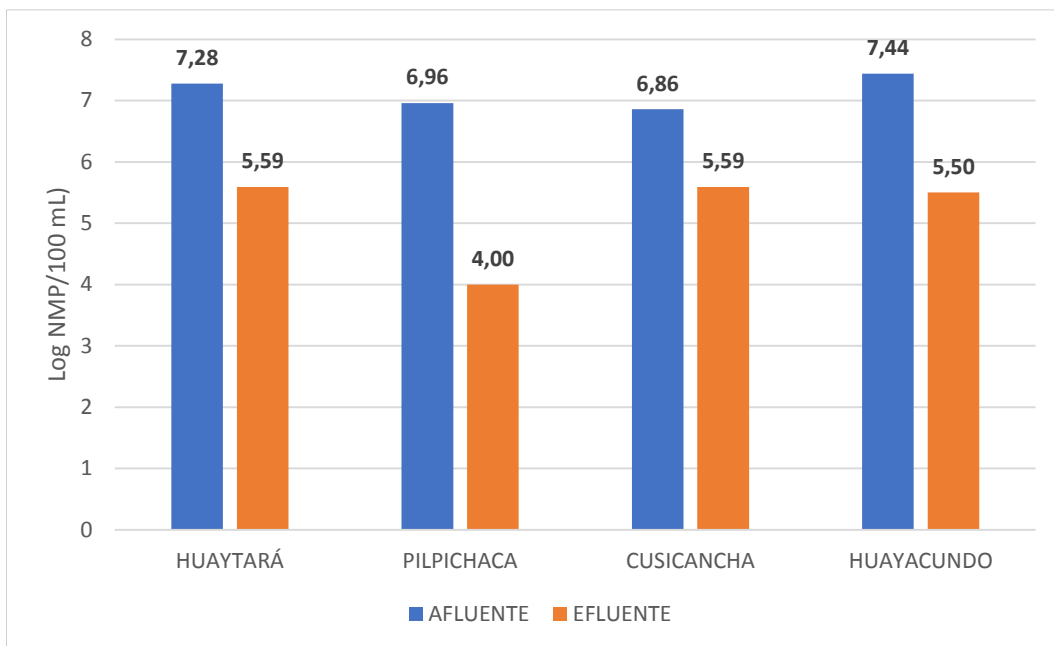


Figura 1. Valores promedios en logaritmo del número de coliformes fecales (Log NMP/100 mL), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

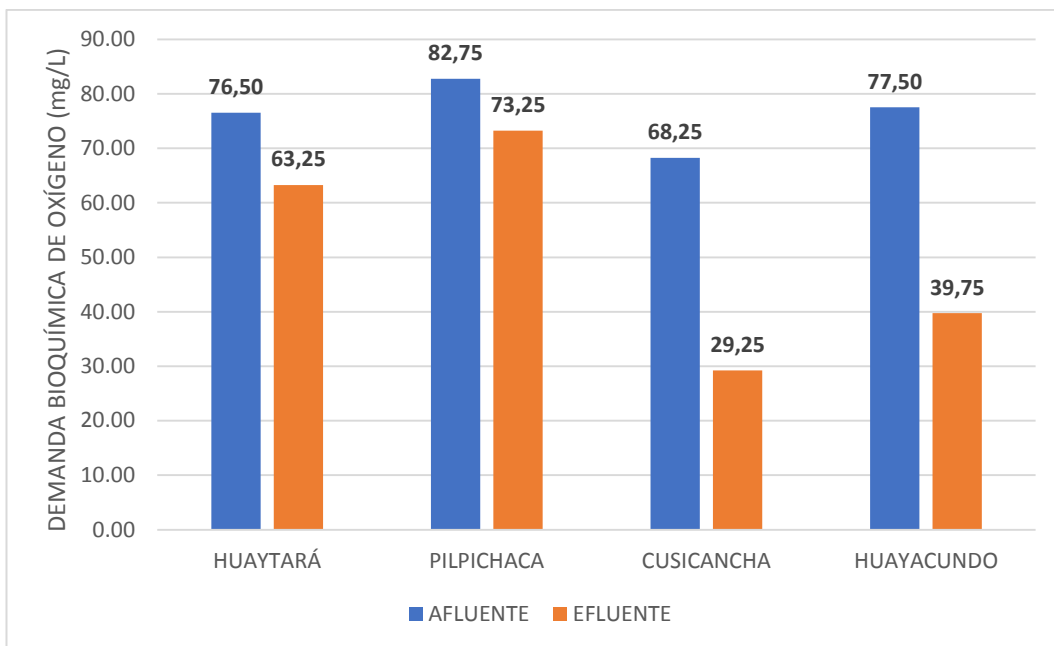


Figura 2. Valores promedios de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

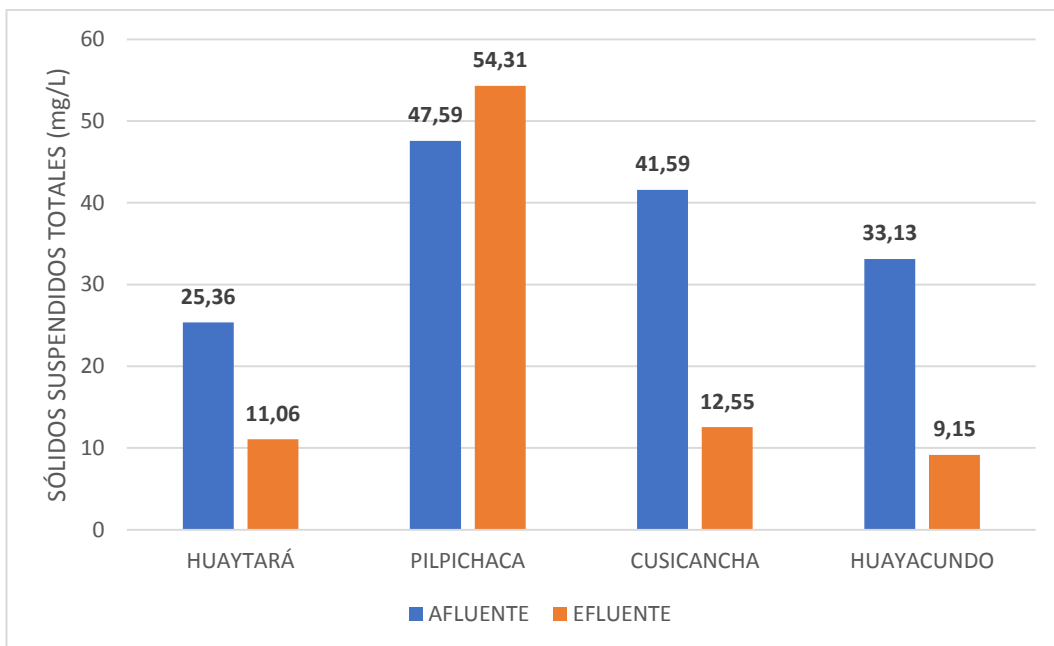


Figura 3. Valores promedio de sólidos suspendidos totales (mg/L), hallados en afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

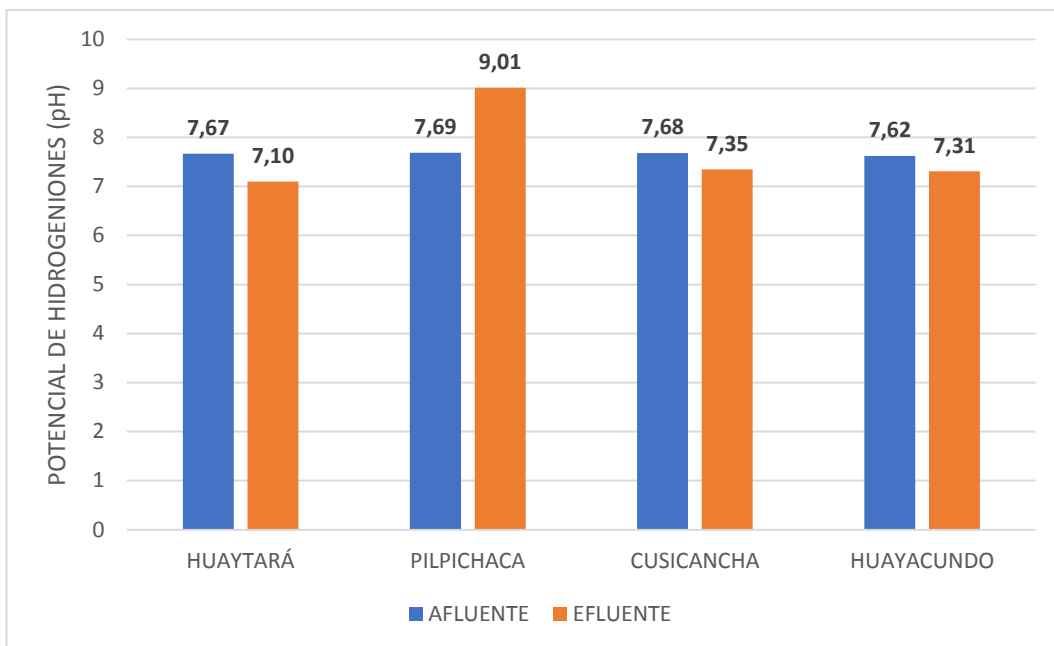


Figura 4. Valores promedio del pH, hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

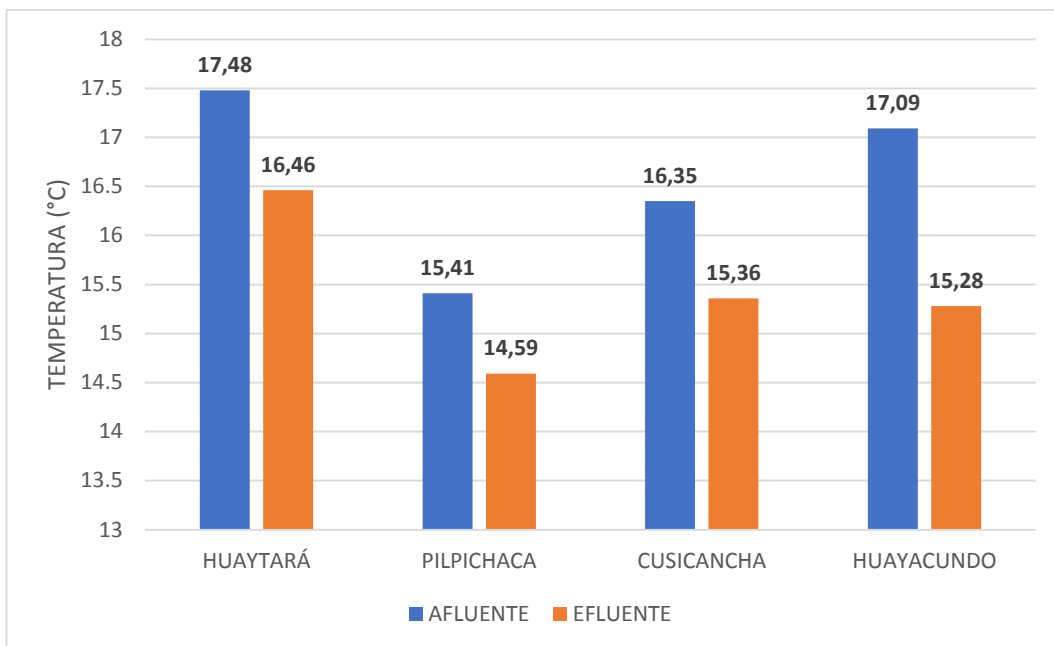


Figura 5. Valores promedios de la temperatura (°C), hallados en los afluentes y efluentes de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

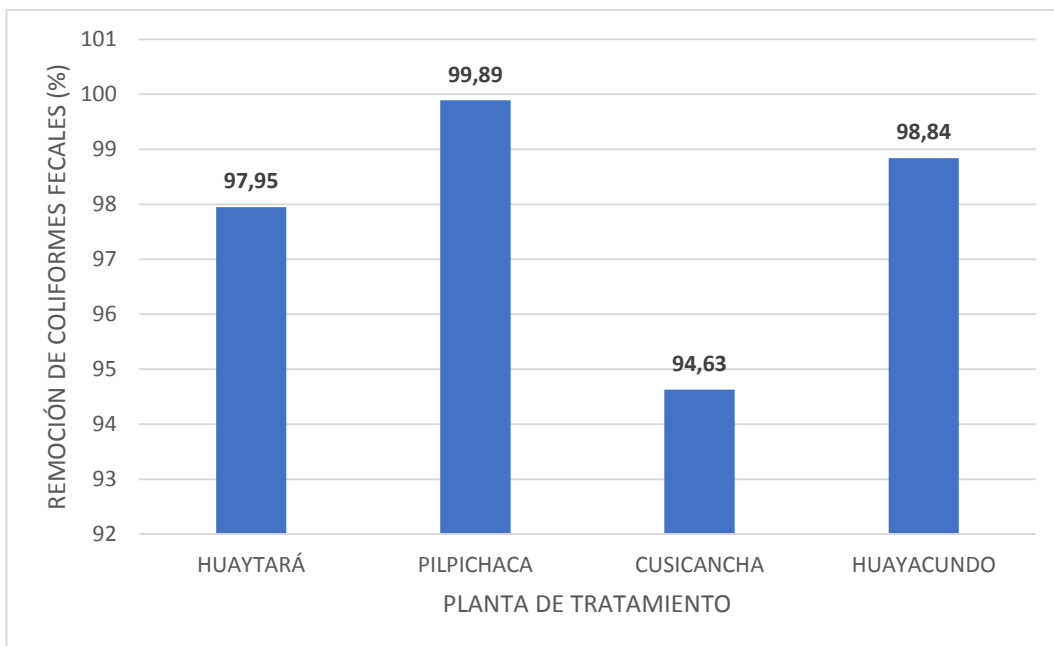


Figura 6. Valores del porcentaje de remoción del número de bacterias coliformes fecales, de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

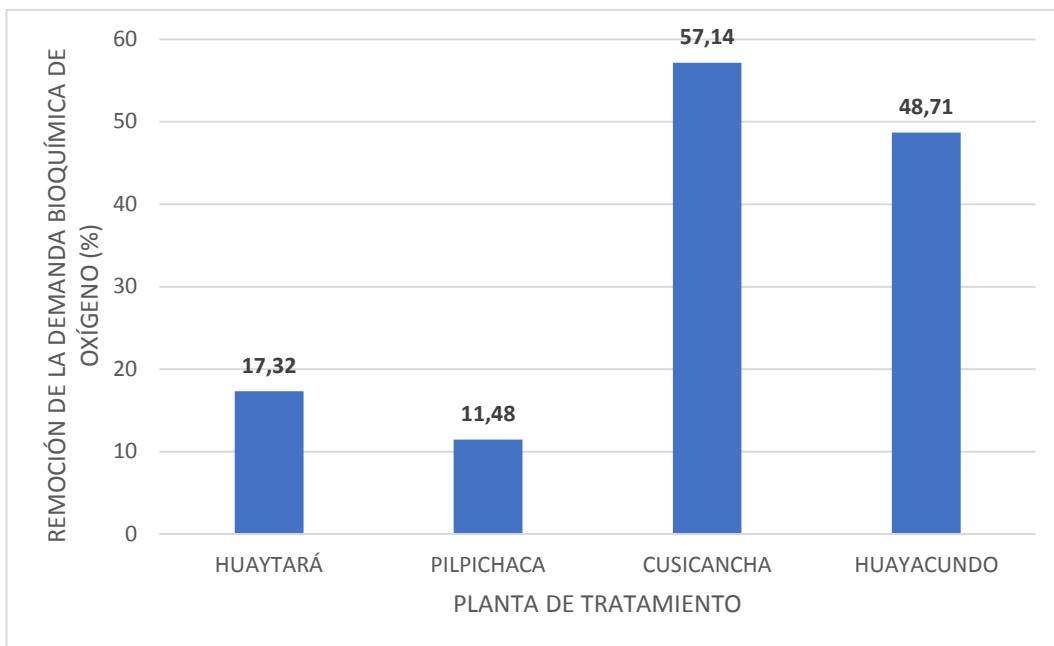


Figura 7. Valores del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, de las PTARs ubicadas en distritos rurales. Huaytará - Huancavelica, 2021-2022.

Tabla 5. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Huaytará, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua según D.S. N° 003-2010- MINAM.

| Parámetros | Unidad | Efluente PTAR Huaytará | LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS N° 003-2010- MINAM | Cumplimiento |
|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---|---------------------|
| Coliformes fecales | NMP/100mL | $3,9 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^4$ | No |
| DBO ₅ | mg/L | 63,25 | 100 | Sí |
| pH | unidad | 7,09 | 6,5-8,5 | Sí |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 11,06 | 150 | Sí |
| Temperatura | °C | 16,48 | < 35 | Sí |

PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

*LMP: límites máximos permisibles.

Tabla 6. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Pilpichaca, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM.

| Parámetros | Unidad | Efluente | LMP de efluentes para | Cumpli miento |
|----------------------------------|-----------|--------------------|---|------------------|
| | | PTAR Pilpichaca | vertidos a cuerpos de agua DS N° 003-2010- MINAM | |
| Coliformes fecales | NMP/100mL | 1*10 ⁴ | 1*10 ⁴ | Sí |
| DBO ₅ | mg/L | 73,25 | 100 | Sí |
| pH | unidad | 9,01 | 6,5-8,5 | No |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 54,31 | 150 | Sí |
| Temperatura | °C | 14,59 | < 35 | Sí |

PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

*LMP: límite máximo permisible.

Tabla 7. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Cusicancha, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM.

| Parámetros | Unidad | Efluente | LMP de efluentes para | Cumpli miento |
|----------------------------------|-----------|---------------------|---|------------------|
| | | PTAR Cusicancha | vertidos a cuerpos de agua DS N° 003-2010- MINAM | |
| Coliformes fecales | NMP/100mL | 3,9*10 ⁵ | 1*10 ⁴ | No |
| DBO ₅ | mg/L | 29,25 | 100 | Sí |
| pH | unidad | 7,35 | 6,5-8,5 | Sí |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 12,55 | 150 | Sí |
| Temperatura | °C | 15,36 | < 35 | Sí |

PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

*LMP: límite máximo permisible.

Tabla 8. Valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR Huayacundo, comparados con los LMP* de efluentes para su disposición a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010- MINAM.

| Parámetros | Unidad | Efluente | LMP de efluentes para | Cumpli miento |
|----------------------------------|-----------|--------------------|---|------------------|
| | | PTAR Huayacundo | vertidos a cuerpos de agua DS N° 003-2010- MINAM | |
| Coliformes fecales | NMP/100mL | $3,2 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^4$ | No |
| DBO ₅ | mg/L | 39,75 | 100 | Sí |
| pH | unidad | 7,31 | 6,5-8,5 | Sí |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 9,15 | 150 | Sí |
| Temperatura | °C | 15,28 | < 35 | Sí |

PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

*LMP: límite máximo permisible.

V. DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los valores promedios del número de coliformes fecales expresados en logaritmo, hallados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica. 2021-2022, donde en el afluente de la planta de tratamiento de Huaytará se obtuvo 7,28 log NMP/100 mL o $1,90 \times 10^7$ NMP/100 mL, y en el efluente 5,59 log NMP/100 mL o $3,90 \times 10^5$ NMP/mL; en el afluente de la planta de tratamiento de Pilpichaca se obtuvo 6,96 log NMP/100 mL o $9,00 \times 10^6$ NMP/mL, en el efluente se obtuvo 4,00 log NMP/100 mL o $1,00 \times 10^4$ NMP/100 mL; en afluente de la planta de tratamiento de Cusicancha se obtuvo 6,86 log NMP/100 mL o $7,20 \times 10^6$ NMP/100 mL, en el efluente 5,59 log NMP/100 mL o $3,9 \times 10^5$ NMP/100 mL; en el afluente de la planta de tratamiento de Huayacundo se obtuvo 7,44 log NMP/100 mL o $2,7 \times 10^7$ NMP/100 mL, en el efluente se obtuvo 5,50 log NMP/100 mL o $3,2 \times 10^5$ NMP/100 mL.

Vera, (2012) señala que se han encontrado parámetros típicos de aguas residuales para los afluentes en zonas rurales donde dichos parámetros se encuentran entre $1,00 \times 10^6 - 1,00 \times 10^{10}$, lo cual se puede encontrar semejanzas en los resultados obtenidos en la presenta investigación para los afluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que se obtuvo valores entre $7,20 \times 10^6$ y $2,7 \times 10^7$ NMP/100 mL.

Vásquez, (2012) en cuyo trabajo de investigación, reporta en el afluente un promedio del número de coliformes fecales de $3,87 \times 10^7$ en poblaciones rurales; de la misma manera para los efluentes con valores medios del número de coliformes fecales entre $4,47 \times 10^4$ a $8,50 \times 10^7$ NMP/100 mL, lo cual se puede encontrar semejanzas con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que se obtuvo valores promedios entre $7,20 \times 10^6$ y $2,7 \times 10^7$ NMP/100 mL, para afluentes y valores promedios entre 1×10^4 y $3,9 \times 10^5$ NMP/100 mL.

Tinco, (2007) en su trabajo de investigación reporta valores promedios de coliformes fecales en el efluente de la planta de tratamiento de Ichpico de $3,1 \times 10^4$; para lo cual, según los resultados obtenidos en la presente investigación, los valores de coliformes fecales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pilpichaca se encuentra por debajo de lo reportado por Tinco, mientras que en el resto de las plantas de tratamiento evaluadas se encuentran por encima de lo reportado por Tinco.

De la misma manera Metcalf y Eddy, (1995) reporta valores típicos de aguas residuales domésticas brutas, considerando concentraciones de coliformes fecales de 10^6 - 10^7 como débil, de 10^7 - 10^8 como media y 10^7 - 10^9 como fuerte, esto de acuerdo a la cantidad de constituyentes que puedan tener dichas aguas residuales, lo cual se puede deber a la densidad poblacional, a las diversas actividades que ejercen y los sistemas de recolección que tienen; por lo tanto, se puede considerar que los resultados obtenidos en la presente investigación, de coliformes fecales para los afluentes están considerados como aguas residuales débiles, y esto puede deberse a que dichos distritos corresponden a zonas rurales, donde la población por su costumbre y sus actividades cotidianas no hacen uso constante del sistema de alcantarillado, es por ello que la concentración de sus aguas residuales se encuentran bastante diluidas.

En la figura 2 se muestra los valores promedios de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), hallados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica. 2021-2022; donde en el afluente de la planta de tratamiento de Huaytará se obtuvo 76,50 mg/L, mientras que en el efluente se obtuvo 63,25 mg/L; de la misma manera en el afluente de la planta de tratamiento de Pilpichaca se obtuvo 82,75 mg/L, mientras que en el efluente se obtuvo 73,25 mg/L; en el afluente de la planta de tratamiento de Cusicancha se obtuvo 68,25 mg/L, mientras que en el efluente se obtuvo 29,25 mg/L; y finalmente en el afluente de la planta de tratamiento de Huayacundo se obtuvo 77,50 mg/L y en el efluente se obtuvo 39,75 mg/L.

Estos resultados se asemejan a lo obtenido por Vásquez (2012), donde reporta valores medios de 75,36 a 136,44 mg/L, para los afluentes de las plantas de tratamiento evaluadas mayormente en poblaciones rurales de la provincia de Huamanga, región Ayacucho, para lo cual, según Metcalf y Eddy (1995) indican que valores de 220 mg/L DBO_5 corresponden a aguas residuales de concentraciones medias, mientras que valores de 110 mg/L DBO_5 corresponden

a aguas residuales de concentraciones bajas, lo que se puede justificar los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que los valores obtenidos se asemejan a lo reportado por Vasquez, y se encuentran por debajo de lo reportado por Mecalp y Eddy, considerándose aguas residuales de concentraciones bajas; esto, se podría deber a que dichas plantas de tratamientos en evaluación, se encuentran en zonas rurales y poco pobladas, ya que dicha variación se debe a su origen, caudal, aporte , aguas infiltradas, etc.

Vásquez, (2012) en su trabajo de investigación, reporta valores medios de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales evaluadas entre 40,17 mg/L y 59.57 mg/L; lo cual según los resultados obtenidos en la presente investigación los valores de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Huaytará y Pilpichaca, se encuentran por encima de lo reportado por Vásquez, mientras que los valores obtenidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cusicancha y Huayacundo se encuentran por debajo de lo reportado por dicho autor.

Tinco, (2007) en su trabajo de investigación reporta valores promedios de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la planta de tratamiento de Ichpico de 63 mg/L; para lo cual, según los resultados obtenidos en la presente investigación, se encuentran semejanzas en los valores de las plantas de tratamiento de Huaytará y Pilpichaca mientras que los valores de las plantas de tratamiento de Cusicancha y Huayacundo se encuentran muy por debajo de lo reportado por dicho autor.

En la figura 3 se puede mostrar los valores promedios de los sólidos suspendidos totales (mg/L), hallados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica, 2021-2022; en las cuales, en el afluente de planta de tratamiento de Huaytará, se obtuvo 25,36 mg/L, mientras que en el efluente se obtuvo 11,06 mg/L de SST; por otro lado, en el afluente de la planta de tratamiento de Pilpichaca se obtuvo 47,29mg/L, mientras que en el efluente 54,31 mg/L; de la misma manera en el afluente de la planta de tratamiento de Cusicancha, se obtuvo 41,59 mg/L, en el efluente se obtuvo 12,55 mg/L de SST; finalmente en el afluente de la planta de tratamiento de Huayacundo, se obtuvo 33,13 mg/L, y en el efluente se obtuvo 9,15 mg/L de SST.

Vera, (2012) en su trabajo de investigación, reporta valores de sólidos suspendidos totales (SST) en poblaciones rurales de 100 a 500 mg/L, lo cual lo

los resultados obtenidos estarían por debajo de lo reportado por Vera (2012), de la misma manera, Mecalf y Eddy, (1995), en su libro ingeniería de aguas residuales, reportan valores de sólidos suspendidos totales de 100 mg/L como débiles, basado en la cantidad poblacional, el tipo de actividades que tienen las poblaciones en este caso rurales, para lo cual los valores se encuentran muy por debajo de lo reportado por dicho autor.

De la misma manera, los resultados obtenidos en la presente investigación para los sólidos suspendidos totales, se asemejan a lo reportado por Díaz (2018), donde obtuvo valores medios en el afluente de 21,35 mg/L y en el efluente de 5,75 mg/L de SST.

En la figura 4 se puede mostrar los valores promedios del número del potencial de hidrogeniones (pH), hallados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica, 2021-2022; donde en el afluente de la planta de tratamiento de Huaytará se obtuvo 7,67, en el efluente se obtuvo 7,10 de pH; de la misma manera en el afluente de la planta de tratamiento de Pilpichaca se obtuvo 7,69, en el efluente se obtuvo 9,01 de pH; mientras que en el afluente de la planta de tratamiento de Cusicancha, se obtuvo 7,68 y en el efluente se obtuvo 7,35 de pH; y en el afluente de planta de tratamiento de Huayacundo se obtuvo 7,62, y en el efluente 7,31 de pH.

Mecalf y Eddy (1995), en su libro ingeniería de las aguas residuales indican, que el pH es un parámetro de calidad de gran importancia para las aguas residuales, el intervalo de concentraciones adecuados para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico, el agua residual con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ión hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas, para lo cual recomienda que el pH, debe de aproximarse a la neutralidad.

Andrade R. (2020), reporta concentraciones de pH en el afluente de 7,27 y en el efluente de 7,56 teniendo semejanzas dichos resultados con los obtenidos en el presente trabajo de investigación, a excepción del resultado del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca donde se obtuvo un valor de 9,01 de pH, esto se debe, según Garcia, J. et al. (2006), a que las lagunas con proliferación abundante de algas son afectadas durante el día por

la actividad fotosintética lo cual genera variación del pH con valores de hasta 9 lo cual se puede justificar dicho resultado en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca ya que en las lagunas de oxidación hay gran proliferación de algas.

En la figura 5 se logra observar los valores promedios de la temperatura (°C), hallados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica, 2021-2022; donde en el afluente de la planta de tratamiento de Huaytará, se obtuvo 17,48 °C, y en el efluente se obtuvo 16,46 °C; mientras que en el afluente de la planta de tratamiento de Pilpichaca, se obtuvo 15,41 °C, en el afluente se obtuvo 14,59 °C; de igual manera en el afluente de planta de tratamiento de Cusicancha, se obtuvo 16,35 °C, en el efluente se obtuvo 15,36 °C; y finalmente en el afluente de la planta de tratamiento de Huayacundo, se obtuvo 17,09 °C, y en el efluente se obtuvo 15,28 °C de temperatura.

Mecalf y Eddy (1995), en su libro ingeniería de las aguas residuales indican, que en función a la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo, de la misma manera también indican que las aguas residuales dependiendo de la situación y época del año, las temperaturas del efluente pueden situarse por encima o por debajo de las del afluente. Por lo tanto dichos resultados obtenidos en la presente investigación, se encuentran dentro de los parámetros mencionados por el dicho autor.

En la figura 6 se muestra los valores del porcentaje de remoción del número de coliformes fecales, de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica, 2021-2022; donde en la planta de tratamiento de Huaytará se obtuvo un 97,95 % de remoción del número de coliformes fecales; mientras que en la planta de tratamiento de Pilpichaca, se obtuvo un 99,89 % de remoción del número de coliformes fecales; igualmente en la planta de tratamiento de Cusicancha se obtuvo un porcentaje de remoción de 94,63 % siendo esta planta de tratamiento en el que menos capacidad de remoción de dicho parámetro, en relación a las otras plantas de tratamiento evaluadas; finalmente en la planta de tratamiento de Huayacundo se obtuvo un 98,84 % de remoción del número de coliformes fecales.

Dichos resultados se pueden comparar con los reportados por Vasquez S. (2012), donde obtienen un 99,829 % para la planta de tratamiento del distrito de Tambillo-

Muyurina, de un 99,984 % para la planta del distrito de Vinchos y un 99,993 % para la planta de tratamiento del distrito de Jesús Nazareno “La Totorá” que representan los valores medios más altos, mientras que los valores medios más bajos reportó un 92,143 % para la planta de tratamiento de Pacaycasa-Huayapampa; lo cual se puede comparar este resultado por lo obtenido en la planta de Cusicancha; por ello, podemos deducir que las plantas de tratamiento evaluadas tienen deficiente capacidad de remoción de coliformes fecales ya que para alcanzar los LMP para efluente de PTAR domésticas debe alcanzar una remoción del 99,99 %.

En la figura 7 se muestra los valores del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huaytará región Huancavelica, 2021-2022; donde en la planta de tratamiento de Huaytará se obtuvo 17,32 % de remoción de DBO_5 ; mientras que en la planta de tratamiento de Pilpichaca se obtuvo 11,48 % de remoción de DBO_5 ; en la planta de tratamiento de Cusicancha se obtuvo 57,14 % de remoción de DBO_5 ; y en la planta de tratamiento de Huayacundo se obtuvo 48,71 % de remoción de DBO_5 .

La entidad FONCODES (1999). En el seminario sistemas de tratamiento de aguas residuales y disposición de excretas para el área rural, considera que las lagunas de estabilización, reduce la DBO_5 de un 70 a 90%.

La entidad CENTA (2007), en su manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales, refiere que el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en plantas de aguas residuales debe alcanzar 95 a 98 %.

Por lo tanto, la capacidad de remoción de las plantas de tratamiento en estudio para el parámetro de DBO_5 , son muy bajos ya que no cumplen con el porcentaje de remoción que recomiendan dichas instituciones, sin embargo estos resultados se asemejan con lo reportado por Vásquez S. (2012), en su trabajo de investigación, donde obtuvo valores muy bajos de 18,905 % y 52,988 % en distritos con condiciones similares a los distritos en estudio del presente trabajo de investigación.

En la tabla 5, se muestran los valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la planta de tratamiento aguas residuales Huaytará, comparados con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS. N° 003-2010-MINAM; donde se puede observar que los valores de coliformes

fecales sobrepasan los límites máximos permisibles, mientras que los valores de DBO₅, SST, temperatura y pH se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles según el decreto supremo 003-2010-MINAM.

En la tabla 6, se muestran los valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la planta de tratamiento aguas residuales Pilpichaca, comparados con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS. N° 003-2010-MINAM; donde se puede observar que el valor de pH sobrepasa los límites máximos permisibles, mientras que los valores de coliformes fecales, DBO₅, SST y temperatura, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles según el decreto supremo 003-2010-MINAM.

En la tabla 7, se muestran los valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la planta de tratamiento aguas residuales Cusicancha, comparados con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS. N° 003-2010-MINAM; donde se puede observar que los valores de coliformes fecales sobrepasan los límites máximos permisibles, mientras que los valores de DBO₅, SST, temperatura y pH se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles según el decreto supremo 003-2010-MINAM.

En la tabla 8, se muestran los valores promedios de los parámetros evaluados en el efluente de la planta de tratamiento aguas residuales Huayacundo, comparados con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS. N° 003-2010-MINAM; donde se puede observar que los valores de coliformes fecales sobrepasan los límites máximos permisibles, mientras que los valores de DBO₅, SST, temperatura y pH se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles según el decreto supremo 003-2010-MINAM.

VI. CONCLUSIONES

1. El número de CF/100 mL, expresados en logaritmo, en afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo fueron: 7,28 log NMP/100 mL, 5,59 log NMP/100 mL; 6,96 log NMP/100 mL, 4,00 log NMP/100 mL; 6,86 log NMP/100 mL, 5,59 log NMP/100 mL y 7,44 log NMP/100 mL, 5,50 log NMP/100 mL, respectivamente.
2. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo fueron: 76,50 mg/L, 63,25 mg/L; 82,75 mg/L, 73,25 mg/L; 68,25 mg/L, 29,25 mg/L y 77,50 mg/L, 39,75 mg/L, respectivamente.
3. La capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo fueron: 97,95%, 99,89%, 94,63% y 98,84%, respectivamente; para lo tanto, dichas plantas no tienen la capacidad de remoción necesaria (99,9999%), que garantice que los efluentes cumplan con los valores de los límites máximos permisibles exigido por norma.
4. Las capacidades de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las PTARs de Huaytará, Pilpichaca, Cusicancha y Huayacundo fueron: 17,32%, 11,48%, 57,14% y 48,71%, respectivamente; por lo tanto, dichas plantas no tienen la capacidad de remoción necesaria (60 %) como mínimo, que garantice que los efluentes cumplan con los valores de los límites máximos permisibles exigido por norma.
5. Según la normativa vigente, los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no cumplen en al menos uno de los parámetros evaluados.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para poder realizar el análisis completo de los parámetros de las aguas residuales, es importante contar con el presupuesto necesario para dicho fin, ya que la caracterización completa de los parámetros de las aguas residuales es costosa y dificulta el trabajo de investigación.
2. Realizar trabajos de investigación del porcentaje de remoción de otros parámetros ya que es importante tener información completa de las características de aguas residuales en poblaciones rurales de la región y del país.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, P. (2004). Mecanismos de eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes en humedales construidos de flujo subsuperficial. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. Edic. CPET. Barcelona.
- Andrade R. y col. (2020) Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4561>
- Apha, w. (1998). Métodos normalizados para el análisis de agua potable y aguas residuales. 20 edición.
- Atlas, R. y Barha, R. (2002). Ecología microbiana y microbiología ambiental. Tercera edición. Editorial Pearson Educación S.A. Madrid. España.
- Aybar, C., Chuchón, S. (2005) Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “la totora”. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162008000100020
- Campos, C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. Revista Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/>
- Carita, M. (2012) Estudio de la calidad microbiológica de aguas residuales, procedentes de planta de tratamiento de aguas residuales Puchukollo-EPSAS, ciudad de el Alto, La Paz-Bolivia.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales, Sevilla.
- Comisión Nacional del Agua. (2013). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia.
- Díaz Meza J. (2018), Control de los parámetros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de

- optimizar su funcionamiento, en la empresa minera pan American Silver S.A.C.-Unidad Operativa Huaron, Pasco-Perú.
- Ding, L., Han, M., Lv, Z., Wang, W., Zhao, X. (2019) Forecasting China's wastewater discharge using dynamic factors and mixed-frequency data. *Environmental Pollution*, 1- 27. doi: 10.1016/j.envpol.113148
- Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social. 1999. Sistemas de tratamiento de aguas residuales y disposición de excretas para el área rural. Ayacucho-Perú.
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAM). 2010. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú.
- García, J. et al. (2006) Variaciones diurnas a largo plazo en la eliminación de contaminantes en estanques de alta tasa que tratan aguas residuales urbanas, Vol.97, N° 14, pp.1709-1715.
- Gómez, M. (2011) Contaminación Difusa “El problema de los nutrientes en el medio rural”. CETAqua. recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283461289_contaminacion_difusa_el_problema_de_los_nutrientes_en_el_medio_rural
- Mara, D., y Cairncross, S. (2000) Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: medidas de protección de la salud pública. OMS. Ginebra. 212 pp.
- Marsillini, A. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Disponible en página web: <http://www.tierramor.org/articulos/tratagua.htm>
- Martínez, M. y col. (2016). Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/unc/1760/tesis%20manuel%20david%20martinez%20bardales.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Mejía, Jeison. (2014). Conceptos Ingeniería Industrial, Control Estadístico de la Calidad, Conceptos Generales. Recuperado de un Blog en: <http://conceptosingindustrial.blogspot.com/2014/10/eficacia-eficiencia-y-efectividad.html>
- Metcalf y Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

- Micha, E., Rojas, E. y Col. (2018) Determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de la planta la encañada del periodo abril – agosto 2018. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22011>
- Montenegro, Julio (2016). "Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito el Parco, Bagua, Amazonas, abril a octubre 2013". Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/unprg/1737/bctestmp591.pdfsequence=1&isallowed=y>
- Montgomery, H.A.C. (1967) "The determination of biochemical oxygen demand by respirometric methods," *Water Res.*, 1/1:632-640.
- Morán, D. J. (2014) Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz (tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Nueva Guatemala de la Asunción, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/14/Moran-Diego.pdf>
- Muñoz, C. (2008) Caracterización y tratamiento de aguas residuales. (Monografía). Universidad autónoma del estado de Hidalgo. España. P 87.
- Norma OS.090, (2009). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf
- Noyola, A., Morgan, J., Sagatume, P. (2013) Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Blog del Agua. México.
- Nuñez, M., Torres, G. (2019). Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba-Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3526>.
- Ocola, J. (2015) Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales – Yunguyo. Tesis de grado. Puno - Perú.
- OEFA 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Rivera, F., A., W., Ramírez, E., Decamp, O., y Bonilla, P. (1995). Remoción de patógenos de aguas residuales por la zona radicular (RZM). *Ciencia y tecnología del agua*. *Ciencia y tecnología del agua*. 32:211-218 pág.
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas: aguas residuales, agua de mar y aguas naturales, Barcelona, España: ediciones omegas, S.A. página 21.

- Romero Rojas, J. (2004) Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rozano, E. (1995). Tratamiento biológico de aguas residuales. Editorial Días de Santos S.A. Madrid.
- Tinco, V. (2007). Capacidad de remoción de coliformes totales, coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ichpico – Huanta 2005. Repertorio Biblioteca UNSCH.
- Vasquez Gutiérrez, S. (2012). Capacidad de remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la provincia de Huamanga. Ayacucho, setiembre de 2011 a enero de 2012. Repertorio biblioteca central de la UNSCH.
- Vera, I. (2012). Análisis de funcionamiento y patrones asociativos de sistemas de tratamiento convencionales y naturales de aguas servidas para la eliminación de material orgánica y nutrientes. Trabajo de grado, Doctorado Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Von Sperling M. (1996). Comparación entre los sistemas más utilizados para el tratamiento de aguas residuales en los países en desarrollo. Ciencia y tecnología del agua., 156-180.
- Yañez F. (1995). Lagunas de estabilización. Lima: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ambiental.

ANEXOS

Anexo 1. Normas legales.

Decreto supremo N° 003-2010-MINAM, que aprueba los límites máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

El presidente de la república.

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso; Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009- MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

DECRETA:

Artículo 1º. Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º. Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):**

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permisible (LMP).**

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo.**

Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1. Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2. Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental,

tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

- 3.4. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

- 4.1. Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.
- 4.2. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.
- 4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

- 5.1. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.
- 5.2. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días

de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

| Parámetro | Unidad | LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas |
|-------------------------------|---------------|--|
| Aceites y grasas | mg/L | 20 |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100 mL | 10,000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 100 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 200 |
| pH | unidad | 6.5-8.5 |
| Sólidos Totales en Suspensión | mL/L | 150 |
| Temperatura | °C | <35 |

Anexo 2. Tabla de NMP y límites de confianza para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con cinco tubos.

| Combinaciones de tubos positivos 10 ml, 1ml, 0.1ml | NMP/100 mL | Límite de confianza de 95% | |
|---|------------|----------------------------|-----------------|
| | | Límite inferior | Límite superior |
| 0-0-0 | <2 | ----- | ----- |
| 0-0-1 | 2 | 1 | 10 |
| 0-1-0 | 2 | 1 | 10 |
| 0-2-0 | 4 | 1 | 13 |
| 1-0-0 | 2 | 1 | 11 |
| 1-0-1 | 4 | 1 | 15 |
| 1-1-0 | 4 | 1 | 15 |
| 1-1-1 | 6 | 2 | 18 |
| 1-2-1 | 6 | 2 | 18 |
| 2-0-0 | 4 | 1 | 17 |
| 2-0-1 | 7 | 2 | 20 |
| 2-1-0 | 7 | 2 | 21 |
| 2-1-1 | 9 | 3 | 24 |
| 2-2-0 | 9 | 3 | 25 |
| 2-3-0 | 12 | 5 | 29 |
| 3-0-0 | 8 | 3 | 24 |
| 3-0-1 | 11 | 4 | 29 |
| 3-1-0 | 11 | 4 | 29 |
| 3-1-1 | 14 | 6 | 35 |
| 3-2-0 | 14 | 6 | 35 |
| 3-2-1 | 17 | 7 | 40 |
| 4-0-0 | 13 | 5 | 38 |
| 4-0-1 | 17 | 5 | 45 |
| 4-1-0 | 17 | 5 | 46 |
| 4-1-1 | 21 | 9 | 55 |
| 4-1-2 | 26 | 12 | 63 |
| 4-2-0 | 22 | 9 | 56 |
| 4-2-1 | 26 | 12 | 65 |
| 4-3-0 | 27 | 12 | 67 |
| 4-3-1 | 33 | 15 | 77 |
| 4-4-0 | 34 | 16 | 80 |
| 5-0-0 | 23 | 9 | 86 |
| 5-0-1 | 30 | 10 | 110 |
| 5-0-2 | 40 | 20 | 140 |
| 5-1-0 | 30 | 10 | 120 |
| 5-1-1 | 50 | 20 | 150 |
| 5-1-2 | 60 | 30 | 180 |
| 5-2-0 | 50 | 20 | 170 |
| 5-2-1 | 70 | 30 | 210 |
| 5-2-2 | 90 | 40 | 250 |
| 5-3-0 | 80 | 30 | 250 |
| 5-3-1 | 110 | 40 | 300 |
| 5-3-2 | 140 | 60 | 360 |
| 5-3-3 | 170 | 80 | 410 |
| 5-4-0 | 130 | 50 | 390 |
| 5-4-1 | 170 | 70 | 480 |
| 5-4-2 | 220 | 100 | 580 |
| 5-4-3 | 280 | 120 | 690 |
| 5-4-4 | 350 | 160 | 820 |
| 5-5-0 | 240 | 100 | 940 |
| 5-5-1 | 300 | 100 | 1300 |
| 5-5-2 | 500 | 200 | 2000 |
| 5-5-3 | 900 | 300 | 2900 |
| 5-5-4 | 1600 | 600 | 5300 |
| 5-5-5 | >1600 | ----- | ----- |

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1985.

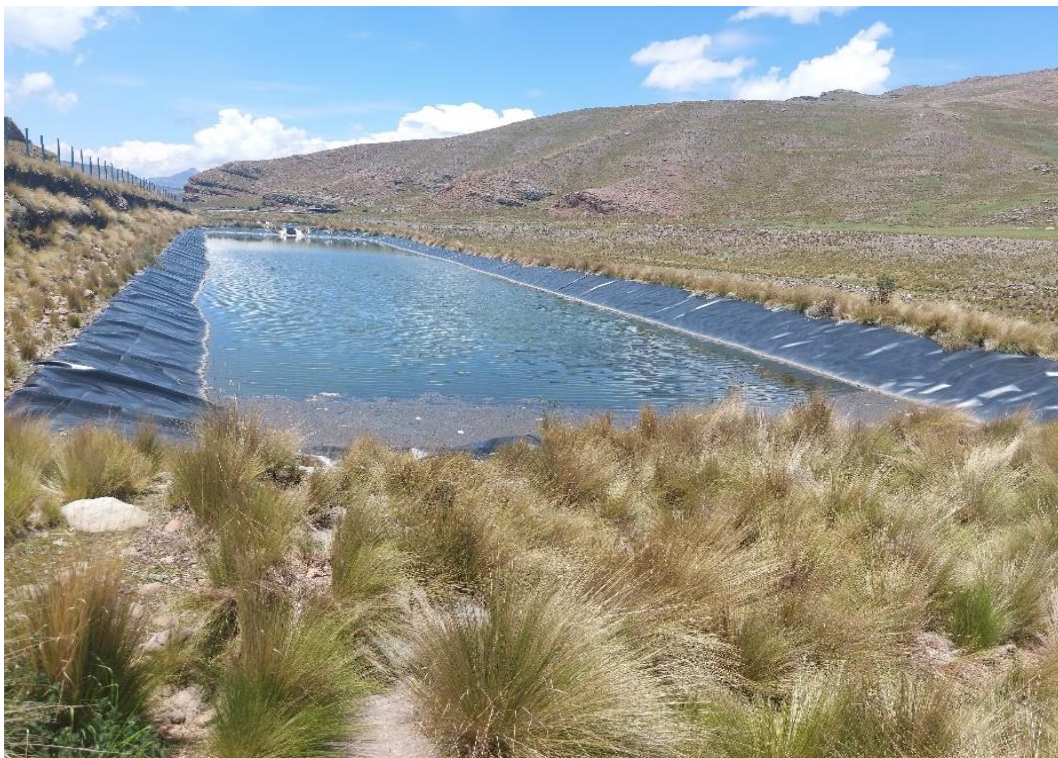
Anexo 3. Planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Cusicancha.



Anexo 4. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca.



Anexo 5. Laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Pilpichaca.



Anexo 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huaytará.



Anexo 7. Laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Huayacundo.



Anexo 8. Realizando la toma de muestras en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cusicancha.



Anexo 9. Preparando los materiales y los medios de cultivo para su esterilización respectiva.



Anexo 10. Realizando la siembra de la muestra de agua residual.



Anexo 11. Tubos de prueba positivos y negativos, después de la incubación por 24 horas a 37 °C.



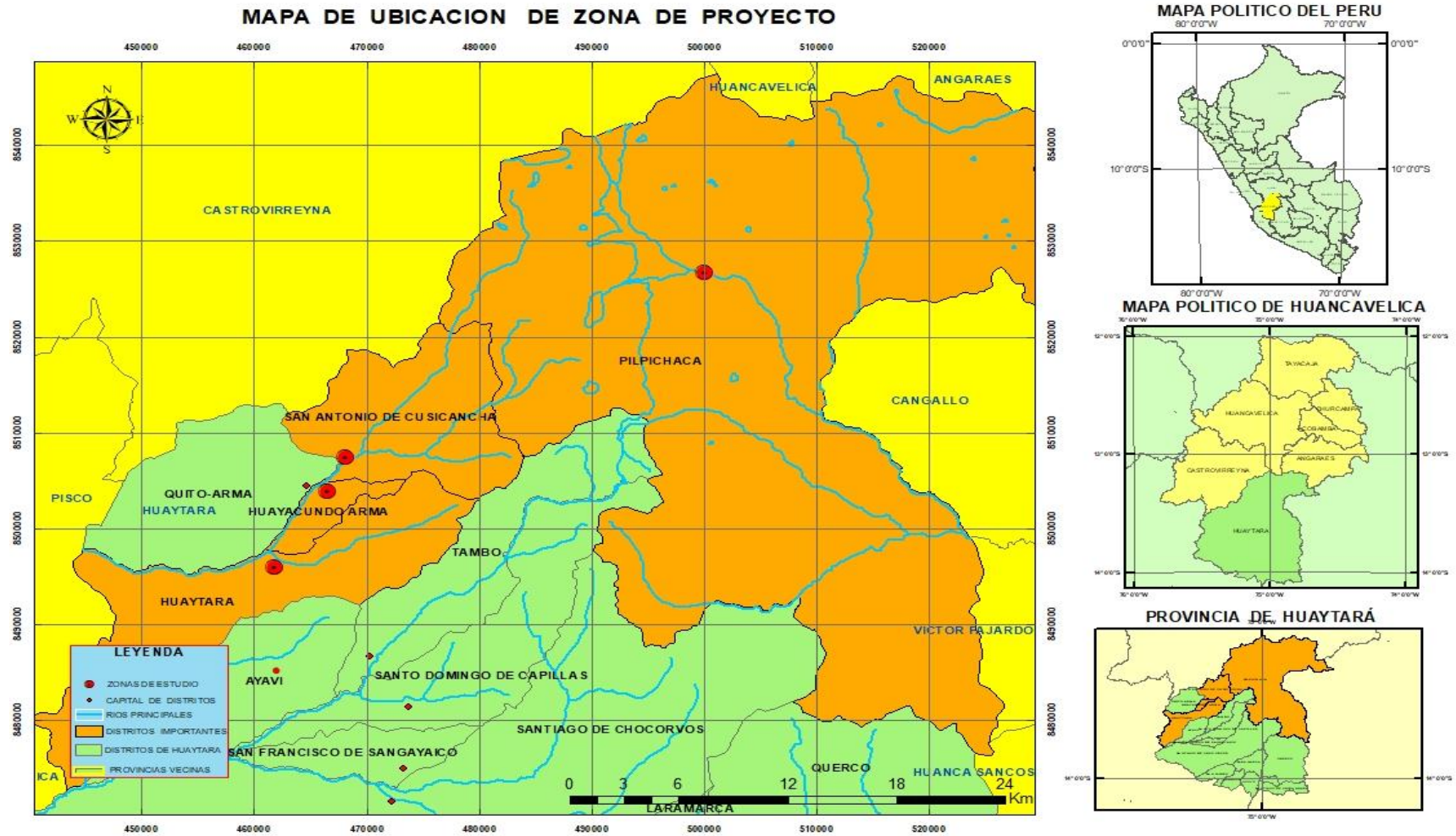
Anexo 12. Preparación de muestras de aguas residuales para la determinación de DBO_5 .



Anexo 13. Incubación de muestras de aguas residuales para la determinación de DBO5 por el método espirométrico.



Anexo 14. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.



Anexo 15. Matriz de consistencia.

| PROBLEMA | OBJETIVOS | MARCO TEÓRICO | VARIABLES E INDICADORES | METODOLOGÍA |
|--|--|---|---|--|
| <p>¿Cuál será la capacidad de remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno en las plantas de tratamiento de aguas residuales en distritos rurales? Huaytará – Huancavelica, 2021-2022?</p> | <p>Objetivo general Determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno en plantas de tratamiento de aguas residuales de distritos rurales de la provincia de Huaytará – Huancavelica 2021-2022.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>a) Evaluar la concentración de las bacterias coliformes fecales, DBO₅ en plantas de tratamiento de aguas residuales de distritos rurales de la provincia de Huaytará – Huancavelica 2021-2022.</p> <p>b) Comparar los resultados de los parámetros evaluados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010-MINAM.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Antecedentes • Marco conceptual • Bases teóricas • Aguas residuales • Principales parámetros de caracterización de aguas residuales en estudio. • Demanda bioquímica de oxígeno • Coliformes fecales • Temperatura • Potencial de hidrogeno | <p>VARIABLES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bacterias coliformes fecales • Concentraciones de DBO₅. <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador: NMP de bacterias coliformes fecales • Indicador: mg/L | <p>Determinación de bacterias coliformes fecales Técnica tubos múltiples de fermentación o número más probable (NMP) Para la determinación del NMP/100 ml de Coliformes Totales y Fecales en este tipo de aguas, se procederá a preparar diluciones decimales de la muestra, debido a que se espera que la concentración de coliformes sea superior en éstas que en un agua potable. Se realizará una prueba presuntiva seguidamente se realizará una prueba confirmativa y finalmente se realizará la determinación del número más probable de coliformes fecales mediante la ayuda de tablas y fórmulas para los cálculos correspondientes.</p> <p>Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se utilizará el método respirométrico haciendo uso de un sensor electrónico, que consisten en una Botella apropiada de Vidrio ámbar, que puede ser de 1, 0.5 o 0.3 lts de capacidad, dotada de una cabeza, de cierre hermético, capaz de mantener el vacío durante 5 días, provista de un transductor electrónico en la parte superior, el cual traduce la presión del interior de la Botella en una señal eléctrica, la cual es amplificada, analizada y convertida a centibares por medio de una caja de lectura.</p> <p>Determinación de sólidos totales en suspensión Se filtrará al vacío un volumen conocido de muestra con papel de fibra de vidrio previamente pesado, se secará a 103-105 °C y se pesará. la diferencia de peso obtenida expresada en mg/L representa los sólidos en suspensión totales, y según la formula se determinará la cantidad de sólidos totales en suspensión por litro de agua.</p> <p>Determinación del pH y Temperatura. La temperatura se determina in situ, en el lugar de muestreo, mediante el uso de un termómetro ambiental, realizando diferentes medidas durante la duración del muestreo. El pH se determina mediante la utilización de un electrodo específico de pH, in situ, en el lugar de muestreo. Al igual que la medición de temperatura, la medición del pH se realizó en los dos puntos de la PTAR.</p> |