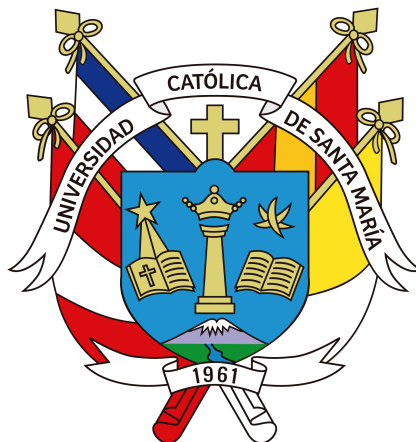


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas Bioquímicas y
Biotechnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN EXTENDIDA (SAE) Y
LECHOS MÓVILES (LM) COMO TECNOLOGÍA EMERGENTE PARA LA
BIODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD) APLICADA EN
LAGUNAS FACULTATIVAS”**

Tesis presentada por la Bachiller:

Amado Quispe, Elizabeth Génesis

para optar el Título Profesional de

Ingeniera Biotechnologo

Asesor:

Dr. Roque Rodríguez, Javier

Arequipa – Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA BIOTECNOLOGICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Enero del 2022

Dictamen: 004424-C-EPIB-2022

Visto el borrador del expediente 004424, presentado por:

2005222662 - AMADO QUISPE ELIZABETH GENESIS

Titulado:

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE AIREACION EXTENDIDA (SAE) Y LECHOS MOVILES
(LM) COMO TECNOLOGIA EMERGENTE PARA LA BIODEPURACION DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS (ARD) APLICADA EN LAGUNAS FACULTATIVAS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

0838 - CARDENAS GARCIA JAIME DANTE
DICTAMINADOR



2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR



2781 - BARREDA DEL CARPIO JAIME ERNESTO
DICTAMINADOR



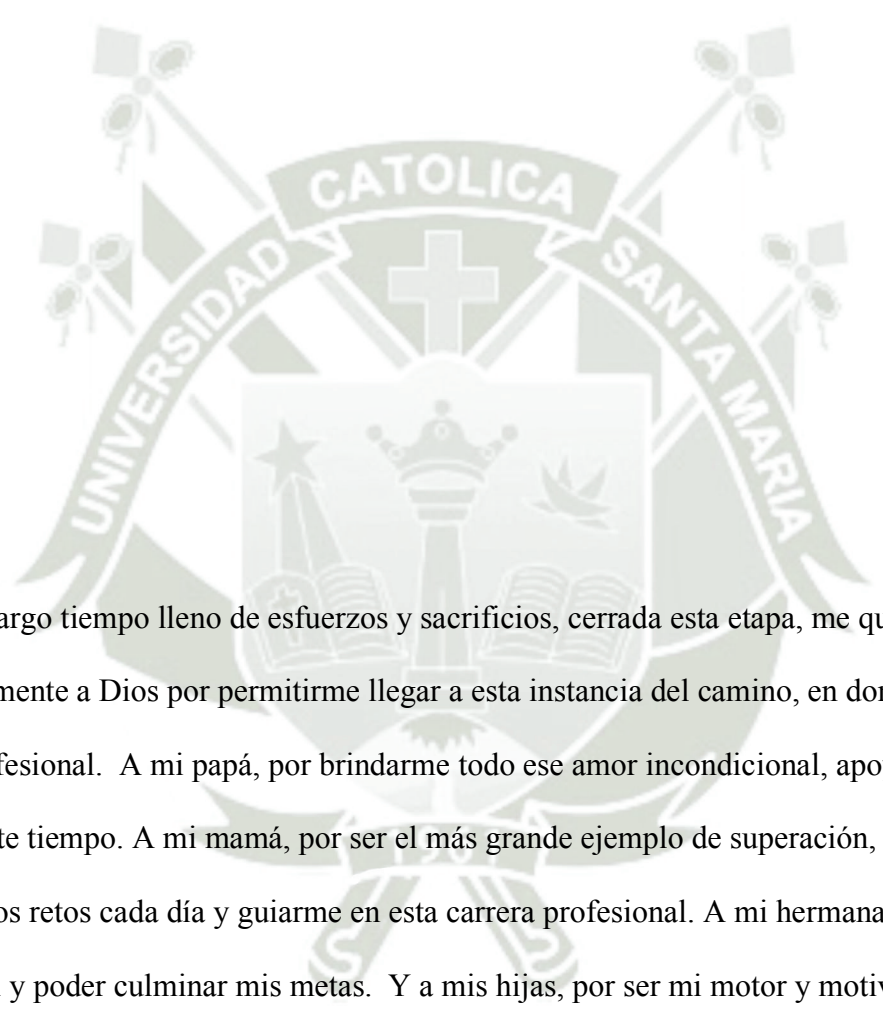
Dedicatoria

Con todo mi cariño para las personas que hicieron todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por tener paciencia y darme la mano cuando sentía que el camino se ponía difícil, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Para toda mi familia y en especial para mis hijas Sofía y Renata



Agradecimiento



Ha sido largo tiempo lleno de esfuerzos y sacrificios, cerrada esta etapa, me queda agradecer principalmente a Dios por permitirme llegar a esta instancia del camino, en donde me vuelvo toda una profesional. A mi papá, por brindarme todo ese amor incondicional, apoyo y paciencia en todo este tiempo. A mi mamá, por ser el más grande ejemplo de superación, por brindarme nuevos retos cada día y guiarme en esta carrera profesional. A mi hermana, por su apoyo incondicional y poder culminar mis metas. Y a mis hijas, por ser mi motor y motivo, en especial por el apoyo emocional en la culminación de la presente tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo implementar un sistema de aireación extendida (SAE) con lechos móviles (LM) para ser adaptados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) tradicionales (lagunas) en la ciudad de Arequipa, los cuales son muy utilizadas en el Perú, pero no tienen mucha eficiencia en la actualidad.

En la investigación se determinó a escala laboratorio las dimensiones del reactor biológico, que de acuerdo a la NTP OS.090 dan el lineamiento para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo según los cálculos realizados las siguientes dimensiones: Largo= 47cm, Ancho=23 cm y Altura= 35 cm, obteniendo un volumen final de 38 litros.

Se realizó la caracterización del efluente doméstico determinando parámetros de DBO₅, DQO, O.D, pH y conductividad. Para el desarrollo experimental, se utilizó 3 sistemas: (1) SAE, (2) SAE+ Carriers y (3) SAE+Tapas plásticas, obteniendo mejores rendimientos de remoción en el sistema 2, con una remoción de DBO de 67% y DQO de 64%.

Se logró identificar una gama de microorganismos característicos en el agua residual doméstico como: como *Bacillus Subtilis*, *Micococcus Luteus*, *Pseunomoda Aeruginosa*.

Finalmente, la implementación de lechos móviles en sistemas de aireación extendida mejora el rendimiento de remoción de contaminantes presentes en el agua residual doméstica, así como la presencia de la diversidad biológica en el agua residual indica la formación de ecosistemas depuradores capaces de mejorar la asimilación de contaminantes.

Palabras claves: Aireación Extendida, Lechos Móviles, Oxígeno Disuelto

ABSTRACT

The present research work aimed to implement an extended aeration system (SAE) with moving beds (LM) to be adapted in traditional domestic wastewater treatment plants (PTARD) (lagoons) in the city of Arequipa, which are widely used in Peru, but they are not very efficient today.

In the research, the dimensions of the biological reactor were determined on a laboratory scale, which according to the NTP OS.090 give the guidelines for the design of domestic wastewater treatment systems, obtaining the following dimensions according to the calculations: Length = 47cm , Width = 23 cm and Height = 35 cm, obtaining a final volume of 38 liters.

The characterization of the domestic effluent was carried out determining parameters of BOD₅, COD, O.D, pH and conductivity. For the experimental development, 3 systems were used: (1) SAE, (2) SAE + Carriers and (3) SAE + Plastic caps, obtaining better removal performance in system 2, with a removal of BOD of 67% and COD Of 64%.

It was possible to identify a wide range of characteristic microorganisms in domestic wastewater such as: *Bacillus Subtilis*, *Micococcus Luteus*, *Pseunomoda Aeruginosa*.

Finally, the implementation of moving beds in extended aeration systems improves the removal performance of pollutants present in domestic wastewater, as well as the presence of biological diversity in wastewater indicates the formation of purifying ecosystems capable of improving the assimilation of pollutants.

Keywords: Extended Aeration, Moving Beds, Dissolved Oxygen

INTRODUCCIÓN

El Agua es uno de los recursos más indispensables en la Tierra debido a que cubre el 71% de toda la superficie, permite a la humanidad desarrollarse de manera económica, social y cultural, además de ser el hogar de una gran biodiversidad de seres vivos manteniendo un equilibrio constante de la temperatura de la Tierra, pero si bien se cuenta con grandes cantidades de agua solo el 2.5% es agua dulce, que en su mayoría se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas, además que solo el 1% de toda el agua dulce se encuentra en los cuerpos de aguas superficiales.

El uso de sistemas de depuración de aguas residuales domésticas (ARD'S) por procesos microbiológicos, en nuestro país se encuentra en pleno auge y expansión debido al incremento de población en las ciudades y la problemática que atraviesa las Plantas de tratamiento en el Perú.

Existen dentro de los procesos microbiológicos de depuración muchas corrientes de tratamiento, dentro de estas las más conocidas podemos nombrar, los biodiscos, biodigestores, lagunas de estabilización, aireación extendida, entre muchos otros (1) , siendo el más reconocido y de mayor aplicación en nuestro país las lagunas de estabilización del tipo facultativa (2).

En el Perú existen 143 PTAR de las cuales 78.32 % son lagunas facultativas, el hecho que las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) eligieran este tipo de tratamiento es por su bajo costo, operación y mantenimiento, se pudo observar en el estudio “diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución” emitido por la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) en el año 2007, donde indica que solo el 29.1 % de aguas residuales domésticas son tratadas por las EPS en sus sistema de tratamiento y el resto se descargó directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos).

Es más, la eficiencia en el tratamiento de ARD no es la adecuada en nuestro país, es por ello que el siguiente estudio es para optimizar estas plantas existentes de tipo facultativo en nuestro país por medio de otras tecnologías como la aireación extendida y lechos móviles, adaptándolas a los sistemas tradicionales de depuración y así elevar su eficiencia con un bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.

Existen muchas variables que dominan el proceso de depuración de aguas residuales domésticas, como la eficiencia del proceso de depuración y parámetros de control que permite evaluar su eficacia, como en todo proceso las variables de operación y los parámetros de control van de la mano. Específicamente para la presente tesis el proceso de aireación extendida será la variable de operación más importante será los niveles de aireación (concentración de oxígeno) y el tiempo de residencia hidráulica.

Analizando otra variable de operación es el crecimiento de Biomasa donde podemos afirmar que, a mayor concentración de bacterias hábiles o vivas, menor será el tiempo de residencia, pues la carga orgánica será digerida en menor tiempo que en una concentración menor. Pero de qué depende la concentración de las bacterias en la cámara de aireación, pues este es el tema de nuestro estudio, en la presente tesis se pretende demostrar cual es el efecto de la variación del área de contacto dentro de la cámara de aireación y consecuentemente la disminución de uno de los parámetros de control más importantes como es la demanda bioquímica de oxígeno, más aún el efecto del aumento de la concentración de bacterias en la cámara de aireación.

INDICE DE CONTENIDOS

<i>Dedicatoria</i>	iii
<i>Agradecimiento</i>	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
HIPÓTESIS	xxi
OBJETIVOS	xxii
GENERAL	xxii
ESPECÍFICOS	xxii
CAPÍTULO I	1
1. <i>MARCO TEÓRICO</i>	1
1.1. <i>Aguas residuales (AR)</i>	1
1.1.1. Clasificación de las Aguas Residuales (AR)	1
1.1.2. Características de ARD o ARU	1
1.1.3. Metabolismo microbiano de ARD	4
1.2. <i>Procesos para el tratamiento de aguas residuales</i>	5
1.2.1. Pretratamiento	6
1.2.1.1. Desbaste o Rejas:	7
1.2.1.2. Tamizado:	7
1.2.1.3. Desarenador	8
1.2.1.4. Desaceitado y desengrasador	8

1.2.2. Tratamiento primario	8
1.2.2.1. Sedimentación	9
1.2.2.2. Coagulación y floculación	9
1.2.2.3. Tanques Imhoff.....	9
1.2.2.4. Digestión Primaria de Lodos	10
1.2.3. Tratamiento secundario	10
1.2.3.1. Lagunas Aireadas	11
1.2.3.2. Proceso de Lodos Activados.....	11
1.2.3.3. Procesos Anaerobios.....	12
1.2.3.4. Lagunas facultativas.....	13
1.2.3.5. Aireación extendida	15
1.2.3.6. Lecho móvil.....	17
1.2.3.7. KALDNES® K1	18
1.2.3.8. TAPAS PLASTICAS.....	19
1.2.4. Tratamiento terciario	20
1.3. Tratamiento De Aguas Residuales En El Perú	21
1.3.1. Tecnologías utilizadas en el PERU para el tratamiento de AR.....	21
1.3.2. Problemática de las PTAR en el Perú	23
1.4. Microorganismos Eficaces para el Tratamiento de Aguas residuales.....	24
1.5. Microorganismos nativos que descomponen la materia orgánica	26
1.5.1. Aspergillus	26
1.5.2. Lactobacillus	27
1.5.3. Saccharomyces cerevisiae	28
1.5.4. Bacillus subtilis	28

1.6.	<i>Perspectivas Futuras</i>	29
1.7.	<i>Normativa legal ambiental</i>	29
CAPITULO II.....		31
2.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
2.1.	<i>Lugar de Estudio</i>	31
2.2.	<i>Unidades de Estudio</i>	31
2.3.	<i>Material</i>	31
2.3.1.	Equipos.....	31
2.3.2.	Materiales de Laboratorio	32
2.3.3.	Reactivos	33
2.3.4.	Material Anexo	35
2.3.5.	Material para SAE	35
2.4.	<i>Metodología</i>	36
2.4.1.	Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente.	36
2.4.1.1.	Caracterización Fisicoquímica.....	36
A.	Determinación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Agua.	36
B.	Determinación de Conductividad	36
C.	Determinación de pH	37
D.	Determinación de la DBO5: Análisis se realizó en Corlab S.A	38
E.	Determinación de la DQO Análisis se realizó En Corlab S.A.....	38
2.4.1.2.	Caracterización Microbiológica.....	38
2.4.2.	Diseño, construcción y operación de un Sistema de Aireación Extendida (SAE) con Lechos Móviles (LM) a escala laboratorio.....	40
A.	Determinación de Carga superficial máxima	40

2.4.3. Identificación los microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles.....	47
2.4.4. Determinación del aumento en la eficiencia de la depuración de aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE Y LM.	49
2.5. Operacionalización de las variables.....	51
CAPITULO III.....	52
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
3.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente.	52
3.1.1. Caracterización Fisicoquímica.....	52
3.1.2. Caracterización Microbiológica	52
3.2. Diseño, construcción y operación de un sistema de aireación extendida (SAE) con lechos móviles (LM) a nivel laboratorio	53
3.2.1. Construcción Sistema de aireación extendida (SAE).....	56
3.2.2. Determinación de Área de Contacto del Sistema de Aireación Extendida (SAE) ...	57
3.2.3. Toma de Muestra de Aguas residuales Domésticas	60
3.2.4. Procedimiento la operación de SAE.....	62
3.2.5. Operación de SAE y LM.....	62
3.3. Identificación los microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles.....	69
3.4. Análisis del aumento en la eficiencia de la depuración de aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE Y LM.	73
3.4.1. Incremento de la eficiencia de remoción de DBO	73
3.4.2. Incremento de la eficiencia de remoción de DQO	74

3.5. Efecto de los sistemas de depuración de aguas residuales sobre la remoción de contaminantes.....	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIA	80
ANEXOS.....	84
ANEXO 1-MATRIZ DE CONSISTENCIA	84
ANEXO 2: ENSAYO DE LABORATORIO	85
ANEXO 3 PANEL FOTOGRÁFICO DE SAE	91
ANEXO 4 FORMACIÓN DE FLOC EN LM.....	92
ANEXO 5 SIEMBRA DE AGUA RESIDUAL EN MEDIOS DE CULTIVO.....	93
ANEXO 6 NTP OS.090.....	94
ANEXO 7: PRESUPUESTO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN.....	95
ANEXO 8 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES UTILIZANDO DIFERENTES TRATAMIENTOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características Físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias	2
Tabla 2 Composición típica de un agua residual urbana	3
Tabla 3 Características del Afluente y Efluente de ARD Chilpina-Arequipa 2012	4
Tabla 4: Características de Lechos móviles KALDNES® K1	18
Tabla 5 Características de Lechos Móviles KALDNES® K1	19
Tabla 6 Requerimientos de área por tipo de tecnología para PTAR de 500 l/s	23
Tabla 7 Disposición Final de los efluentes de las PTAR	23
Tabla 8 Cuadro de microorganismo y el medio de cultivo selectivo	47
Tabla 9: Resultado de los parámetros físicoquímicos de la Pruebas A, B y C	52
Tabla 10: Resultado de la caracterización Microbiológica del Agua Residual	52
Tabla 11: Medidas Cámara de Aireación, especificando los valores de largo, alto ancho en centímetros (cm)	56
Tabla 12: Promedio de Medidas de Tapas plásticas	58
Tabla 13 Resumen del Área total de Contacto	60
Tabla 14 Toma de muestras	61
Tabla 15: Consideración de para la prueba 1 (P1-A/P1-B/P1-C)	62
Tabla 16: Resultados controles físico químicos de las PRUEBAS 1 (P1-A /P1-B/P1-C)	64
Tabla 17: Consideraciones para la Pruebas 2 (P2-A /P2-B/P2-C)	65
Tabla 18 Resultados controles físico químicos de las PRUEBAS 2 (P2-A /P2-B/P2-C) - SAE y LM	66
Tabla 19: Consideración de para las pruebas 3 (P3-A/P3-B/P3-C)	67

Tabla 20: Resultados controles físico químicos de las PRUEBAS 3(P3-A /P3-B/P3-C) - SAE y LM	67
Tabla 21 Tinción Gram, Prueba de Catalasa y Prueba de Oxidasa alas Cepas 1,2,3	70
Tabla 22: Identificación de Microorganismos en LM tipo Kalness K1	71
Tabla 23 Porcentaje de remoción de las pruebas P1, P2 y P3	73
Tabla 24 ANOVA para % Remoción de DQO por SISTEMAS	76
Tabla 25 Tabla ANOVA para % Remoción de DBO por SISTEMAS	77
Tabla 26 Pruebas de Múltiple Rangos para % Remoción de DBO por SISTEMAS	78



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Procesos del tratamiento de Aguas residuales domésticas.....	6
Figura 2 : Procesos de Pre- tratamiento AR	6
Figura 3: Procesos del Tratamiento Primario AR	9
Figura 4. “Esquema de Proceso de Lodos Activados”	12
Figura 5: Procesos para el Tratamiento Secundario de AR.....	13
Figura 6:Representación esquemática del Tanque de Estabilización.....	14
Figura 7: Esquema de Aireación	17
Figura 8 Lechos móviles KALDNES® K1	19
Figura 9. Secuencia Completa de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas	21
Figura 10: Tecnologías usadas en las Plantas de Tratamiento Secundario en el Perú	22
Figura 11 Clasificación de Organismos por fuente de carbono y energía. (Fuente: Elaboración Propia)	25
Figura 12 Área del cilindro donde (h) es la altura (r) radio. (Fuente: Elaboración propia)	42
Figura 13:Área de un octaedro, donde (a) es el largo, (b) es la profundidad y (c) es la altura (Fuente: Elaboración Propia).....	43
Figura 14 Flujograma de Operación de SAE y LM (Fuente: Elaboración Propia)	45
Figura 15: Área de un octaedro, donde (a) es el largo, (b) es la profundidad y (c) es la altura ..	55
Figura 16 El sistema de Aireación Extendida consto de: (a) Distribución difusores de aire, (b) cámara de vidrio, (c) aire comprimido	57
Figura 17 Difusores de Aire de piedra volcánica que conectado al aire comprimido expulso un tamaño de burbuja ≤ 1 mm según especificación del fabricante.....	57

Figura 18 Difusores de Aire de piedra volcánica que conectado al aire comprimido expulso un tamaño de burbuja ≤ 1 mm según especificación del fabricante.....	58
Figura 19: Desarenador I – Planta de Chilpinilla - Vista Frontal (Fuente: Fotografía propia)	61
Figura 20: Se recolectaron 12 L de agua residual doméstica. (Fuente: Fotografía Propia PTAR Chilpina).....	61
Figura 21 : Procedimiento de Inoculación de Lechos móviles.....	62
Figura 22: Prueba 1 - SAE con 12 litros de cribado, sin lechos móviles y con baja aireación Prueba P1-A (Fuente: Fotografía Propia).....	63
Figura 23 Cámara de Aireación sin lechos - Toma de datos fisicoquímicos equipo HANNA (P1-A).....	63
Figura 24 : Prueba P1-B después de 12 horas aireación.....	64
Figura 25: Cámara de Aireación con Lechos Especializados Kaldnes K1.....	65
Figura 26: Prueba P2 - B presencia de lechos móviles.....	66
Figura 27 Cámara de Aireación con Lechos Tapas plásticas (P3-A).....	67
Figura 28 Agua tratada de la P1-A, P2-A, P3A.....	68
Figura 29 : (a) Lecho móvil Kaldness con formación FLOC (b) Tubos de Dilución provenientes del FLOC de los lechos móviles Kaldness (c) Placa con Agar Nutritivo, con siembre de Dilución 10^{-1} se observa gran cantidad de crecimiento microbiano (d) Placa con Agar Nutritivo, con siembre de Dilución 10^{-4} se observa separación de colonias de microorganismos.	70
Figura 30 : (a) Agar Nutritivo cepa 1 (b) Agar Nutritivo cepa 2 (c) Agar Nutritivo cepa 3.	70
Figura 31 : Eficiencia de Remoción de DBO durante las pruebas (Fuente: Elaboración Propia).74	
Figura 32 Eficiencia de Remoción de DQO durante las pruebas	75

Figura 33 Gráfica de medias DQO	76
Figura 34 Gráfica de medias DBO	78



ÍNDICE DE FÓRMULAS

Ecuación ((1)) Fotosíntesis	15
Ecuación ((2)) Respiración	15
Ecuación (3) Área requerida del SAE	40
Ecuación (4) Carga Superficial mínima	40
Ecuación (5) Relación largo/ ancho.....	41
Ecuación (6) Área del cilindro.....	42
Ecuación (7) Perímetro del cilindro.....	42
Ecuación (8) Área total del cilindro.....	42
Ecuación (9) Área total del cilindro.....	42
Ecuación (10) Área de contacto del SAE	43
Ecuación (11) Área de contacto total de SAE+LM.....	43
Ecuación (12)Cálculo de la eficiencia operativa	49
Ecuación (13) Diseño de laguna facultativa	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación (14) Carga superficial máxima	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación (15) Relación largo/ancho.....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación (16) Requerimiento de sistema de aireación.....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación (17) Volumen de aire necesario	¡Error! Marcador no definido.

ABREVIATURAS

AR	Agua residual
ARD	Agua residual doméstica
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándar de calidad ambiental
FONAM	Fondo Nacional del medio ambiente
LM	Lecho móvil
LMP	Límite máximo permisible
OD	Oxígeno Disuelto
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
pH	Potencial de Hidrógeno
PTARD	Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas
SAE	Sistema de Aireación Extendida
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento

HIPÓTESIS

Dado la baja eficiencia de las lagunas facultativas en la depuración de aguas residuales en el Perú, es que a través de la implementación de procesos innovadores como un sistema aireación extendida (SAE) y procesos microbiológicos como lechos móviles (LM), se mejorará la depuración de aguas residuales domésticas, aumentando la eficiencia de depuración, siendo un tema de investigación relevante es por eso que se plantea esta alternativa de solución.



OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un sistema de aireación extendida y lechos móviles aumentando la eficiencia de la depuración de Aguas Residuales Domésticas en las lagunas facultativas debido al crecimiento de microorganismos (biomasa) a través de una película adherida a los lechos móviles.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente las aguas residuales domésticas del afluente.
- Construir un Sistema de Aireación Extendida (SAE) con Lechos Móviles (LM) escala laboratorio.
- Identificar microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles (biomasa)
- Evaluar y comparar el tratamiento de Aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE y LM.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales (AR)

Definición:

Son las aguas, que por las diferentes actividades antropogénicas, cambiaron su calidad original por lo que es necesario un tratamiento que permita volver a reusarla o verterlas a un recurso hídrico o alcantarillado (3).

1.1.1. Clasificación de las Aguas Residuales (AR)

- ✓ *Aguas Residuales Industriales:* Son las aguas residuales que provienen de las actividades industriales como minería, curtiembres entre otras (3).
- ✓ *Aguas Residuales Domésticas o urbanas (ARD o ARU):* Son las aguas residuales que provienen de las viviendas o comercios pero con la característica de contener desechos fisiológicos (3).
- ✓ *Aguas residuales Municipales:* Son las aguas residuales que resultan de la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas del drenaje pluvial o agua industrial tratada cuya mezcla se da en el alcantarillado. (3).

La presente tesis trabajó con las Aguas Residuales Domésticas según las Clasificación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental en el Brochure de “Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales” en al año 2010.

1.1.2. Características de ARD o ARU

En la tabla 1 se muestran las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales:

Tabla 1 Características Físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

Características	Procedencia
Propiedades físicas	
Color, olor, temperatura	A.R. domésticas e industriales
Constituyentes químicos orgánicos	
Carbohidratos, grasas, aceites	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes	prioritarios A.R. domésticas, industriales y comerciales
Constituyentes químicos inorgánicos	
Alcalinidad	A.R. domésticas, agua de suministro
Cloruros	A.R. domésticas, agua de suministro
pH	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes	prioritarios A.R. domésticas, industriales y comerciales
Azufre	A.R. domésticas, agua de suministro
Gases	
Sulfuro de	Hidrógeno Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro, infiltración de agua superficial
Constituyentes biológicos	
Animales,	Plantas Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas	Aguas residuales domésticas
Virus	Aguas residuales domésticas

Fuente: Tomado de Metcalf & Eddy (1)

La composición de las ARU es muy variable y depende de diversos factores como el consumo de agua, aguas industriales que se vierten a la red de alcantarillado. La tabla 2 muestra las características de una ARU típica. Estos datos nos servirán como base para el diseño de SAE.

Tabla 2 Composición típica de un agua residual urbana

Parámetro	Concentración (mg L ⁻¹)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales ST	1200	700	350
Fijos	600	350	175
Volátiles	600	350	175
Sólidos en Suspensión (SS)	350	200	100
Fijos (SSF)	75	50	30
Volátiles (SSV)	275	150	70
SS sedimentables (SSs)	20	10	5
SS coloidales (SSc)	330	190	95
Sólidos Disueltos (SD)	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO5)	400	220	110
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	500	250
Carbono Orgánico Total (COT)	290	160	250
Nitrógeno Total (NT)	85	40	20
Fósforo Total (PT)	15	8	4
Fósforo Orgánico (PO)	5	3	1
Fósforo Inorgánico (PI)	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

Fuente: Tomado de Metcalf & Eddy (1)

Según la tabla 3, las características de las ARD en la Ciudad de Arequipa de su planta de tratamiento de Chilpina *encajan* en una composición típica de agua residual **FUERTE**, según la clasificación (1), como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 3 Características del Afluente y Efluente de ARD Chilpina-Arequipa 2012

Parámetro	Unidades	Afluente	EFLUENTE
DQO	mg/l	1305	364.5
DBO5 20 °C LME50	mg/l	717.58	197.8
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1.90 E+07	1.75E+04
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.53 E+07	8.73E+03
Turbidez	NTU	534	99.5
pH	-	8	7.5
Temperatura	°C	18.34	17.95
Sólidos Sedimentables	ml/l	19.19	19.19
Conductividad	mS/cm	1.18	0.11
Sólidos Disueltos Sedimentables	g/l	0.93	1.87
Nitratos	mg/l	SM	0.9

Fuente: Extraído de Mayorga Rayo (4)

1.1.3. Metabolismo microbiano de ARD

El metabolismo microbiano para aguas residuales se puede explicar dividiendo las reacciones químicas en 03 etapas:

- *Etapas I:* Consiste en la incorporación de materias orgánica presente en las aguas residuales mediante reacción de síntesis o asimilación, originando nuevo tejido celular, es decir un crecimiento de la masa de microorganismos (biomasa). Para ello, la materia orgánica debe entrar en la célula a través de la membrana citoplasmática. Si la materia orgánica está en forma disuelta, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es rápidamente biodegradable, debido a compuestos solubles constituidos por moléculas simples, los cuales pasan directamente a través de la membrana celular y se metabolizan a alta velocidad. Si la materia orgánica se encuentra en forma de materia en suspensión, es decir en forma de partículas, la cual representa la mayor parte de la DBO, es lentamente biodegradable, debido a que es absorbida sobre las células con

un efecto de almacenamiento sobre la membrana citoplasmática. Esta DBO debe ser transformada previamente en moléculas más simples para poder ser asimilada por las células. Este proceso de hidrólisis origina moléculas más simples y se realiza en la pared celular, es llevado a cabo por enzimas extracelulares producidas por el propio sistema celular y con una velocidad relativamente lenta en comparación con la de la DBO rápidamente biodegradable; esta transformación en moléculas más simples es el factor de limitación en esta reacción de transformación bioquímica (5).

- Etapa *II*: consiste en la oxidación de una fracción de la materia orgánica mediante reacciones de oxidación o desasimilación, originando productos finales y liberando energía para la síntesis de nuevo tejido celular (5).
- Etapa *III*: Consiste en un proceso de respiración endógena o autooxidación que tiene lugar en ausencia de materia orgánica. El tejido celular será utilizando endógenamente produciendo compuestos gaseoso finales y energía para el mantenimiento de las células. De forma simultánea a la oxidación y producción de energía, hay una pérdida neta de masa activa llamada perdida de masa endógena. El 80% de la materia asimilada queda completamente oxidada como CO_2 , y H_2O y el 20 % restante no es desagradable y queda como residuo (5).

1.2. Procesos para el tratamiento de aguas residuales

Según el Capítulo I - Panorama De Las Tecnologías Existentes En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas, informe emitido por El Fondo Nacional del Ambiente del Perú en el año 2010, donde considera los procesos para el tratamiento de AR, a continuación, se describirán los procesos según la figura 1.

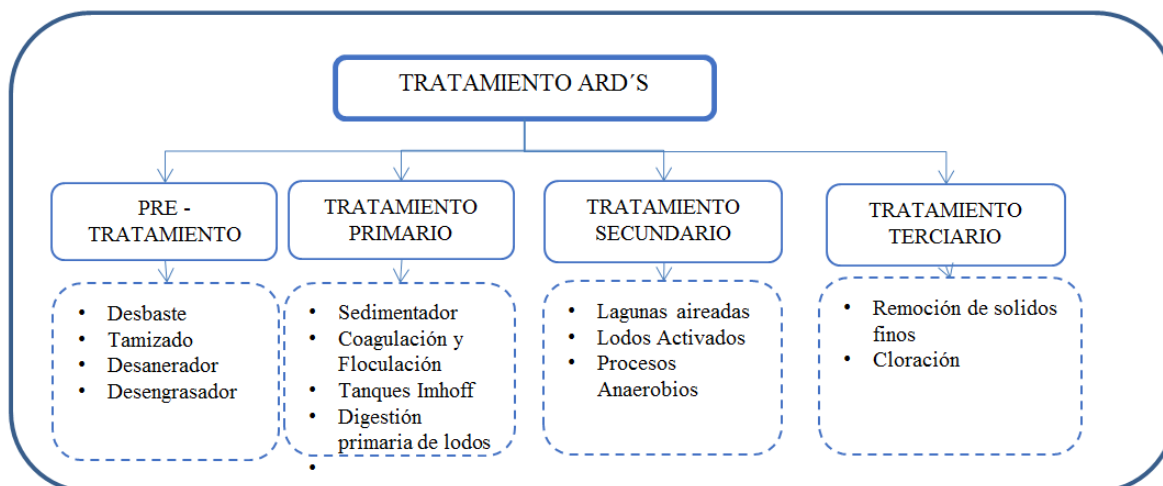


Figura 1: Procesos del tratamiento de Aguas residuales domésticas

Nota: Extraído de FONAM (6)

1.2.1. Pretratamiento

El pretratamiento es un proceso mediante el cual se busca reducir y quitar las partículas sólidas que podrían causar problemas en los procesos físicos o biológicos. Es decir, se trata de descomponer el material en una cantidad y tamaño razonable, esto también involucra la separación de elementos que no son orgánicos. Dentro del pretratamiento se encuentran procesos que minimizan la carga sólida antes que entre al tratamiento primario para su mayor eficiencia, es así que se tiene los diferentes procesos para el pre tratamiento como se ve en la figura 2.

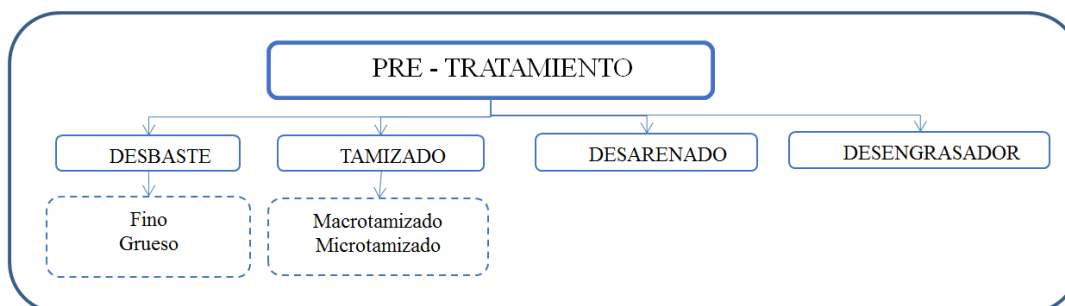


Figura 2 : Procesos de Pre- tratamiento AR

Nota: Extraído de FONAM (6)

1.2.1.1.Desbaste o Rejas:

Procedimiento que consiste en la separación de partículas de tamaños considerables mediante el uso de rejillas. El tamaño de las partículas separadas es elegido de acuerdo al tipo de tratamiento posterior que se le dará. Se tienen diferentes tamaños entre los cuales se puede señalar como importantes los siguientes:

- Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10 –25 mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50 –100 mm.
- En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:
- Reja de gruesos: entre 12 –25 mm.
- Reja de finos: entre 6 –12 mm.

Además, estas rejas tienen características de su uso, como la limpieza manual o automática (6).

1.2.1.2. Tamizado:

El tamizado es un procedimiento similar al desbaste, pero su calidad de separación de partículas es más minuciosa. Así tenemos dimensiones de orificios de paso del tamiz como:

- Macrotamizado. - Se lleva a cabo sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0.2 mm. Se emplea para retener materias en suspensión, flotantes, semiflotantes, residuos vegetales o animales de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- Microtamizado. - Se utiliza como material tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Es empleado para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en aguas residuales pre tratadas. En casos especiales, los tamices se incluirán en el pre tratamiento de una estación depuradora.

1.2.1.3. Desarenador

Son unidades hidráulicas cuyo objetivo es remover sedimentos mediante una separación física, puede retirar partículas superiores a 200 micras. Este equipamiento es necesario debido a que previene el atoramiento de equipos o bombas así como proteger los aparatos de abrasión (7).

1.2.1.4. Desaceitado y desengrasador

Este equipamiento tiene como objetivo remover grasas y aceites del agua. Cabe mencionar que hay 2 tipos de remoción, 1) el desaceitado que es una separación líquido-líquido y 2) el desengrase que es una separación sólido-líquido. Se puede inyectar aire para lograr la emulsión de las grasas y optimizar la flotación de las mismas.

“Este proceso se podría realizar en los decantadores primarios, si estos están provistos de unas rasquetas superficiales de barrido. Sin embargo, la cantidad y el volumen de las partículas generarían problemas haciendo que el proceso sea ineficiente”(6).

“Si se junta el desaceitado y el desengrasador en el mismo compartimiento, se sugiere tener una zona de tranquilización, donde tanto en la zona superficial como en la zona de fondo, se puedan evacuar los residuos que son indiferentes en el proceso”(6).

En el Perú la mayoría de procesos para el pretratamiento emplean un 45% de desbaste o rejillas, un 24% desarenador (2)

1.2.2. Tratamiento primario

El objetivo de esta etapa de tratamiento consiste en retirar o remover los sólidos sedimentables de naturaleza orgánica o inorgánica, lo que disminuye la carga en el proceso biológico. Los procesos que conforman este tratamiento se observan en la figura 3.

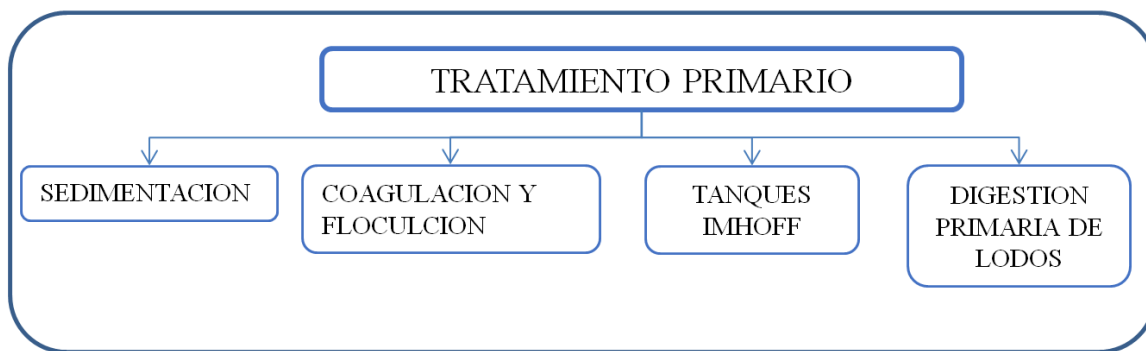


Figura 3: Procesos del Tratamiento Primario AR

Nota: Extraído de FONAM (6)

1.2.2.1.Sedimentación

“Este proceso depende de los pesos específicos de los sólidos debido a que determinará su comportamiento. Algunos sólidos que tienen el peso específico mayor que el agua sedimentada pasarán a sedimentarse y las partículas que tiene peso específico menor flotarán por un periodo de tiempo”(6).

1.2.2.2.Coagulación y floculación

Es un proceso físico químico que utiliza reactivos químicos llamados Coagulantes. Este proceso es el más usado para reducir la turbidez del agua, sólidos suspendidos y fosfatos.

La formación de flóculo se ve favorecida por la adición de coadyuvantes, que se denomina floculación, este proceso sirve también para remover grasas y aceites. Este proceso puede combinarse con un proceso de aireación para que los flóculos floten y puedan removerse por la parte superior de los equipos denominados DAF. Los floculantes más usados son los oxidantes, adsorbentes y sílice activa.

1.2.2.3.Tanques Imhoff

Es una unidad hidráulica primaria cuya función es remover SST. Entre sus ventajas, radica en su doble función de sedimentación y digestión de los lodos producidos. Los tanques Imhoff tienen

una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas (6).

Este equipo tiene 3 cámaras: 1) C. de sedimentación, 2) C. Digestión y 3) C. Ventilación. Cuando el agua residual fluye por la cámara 1, se eliminan gran cantidad de sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación (7).

1.2.2.4. Digestión Primaria de Lodos

En el proceso de sedimentación tanto primaria como secundaria se da la producción de lodos, los cuales tienen una composición de partículas y agua. El volumen que se genera está en función de factores como el tipo de tratamiento, climatología o temperatura del entorno. Es por esa razón, que dicho lodo puede descomponerse rápidamente y generar gases como H_2S causante de mal olor en el entorno de la PTAR. Es necesario equipamiento que garantice tiempos de retención (TRH) mayores a los 25 días cuando las temperaturas promedio estén en el rango de 20-25°C.

1.2.3. Tratamiento secundario

Una vez culminado el pretratamiento y el tratamiento primario, se prosigue a realizar un tratamiento biológico cuyo fin es reducir la materia orgánica presente en el agua residual tratada. Este proceso fue diseñado teniendo en cuenta la autodepuración que se da de manera natural, al realizar este tratamiento en las aguas se minimiza la contaminación que puede ocasionar el vertimiento de las aguas.

Debido a que, en este proceso, el agua residual aun contiene materia orgánica biodegradable, lo cual actúa como nutrientes para las bacterias presentes en el agua, proporcionando de esa forma oxígeno minimizando la cantidad de contaminantes presentes.

Para que todo este proceso se lleve a cabo deben existir diversas condiciones a considerar:

- Temperatura: 30 a 40°C
- Oxígeno Disuelto
- pH: 6.5 A 8.0
- Salinidad menor a 3 000 ppm

1.2.3.1.Lagunas Aireadas

Este tipo de proceso está conformado por embalses de agua servidas, la cual se va oxigenando al ingresar aireadores superficiales o difusores sumergidos con la finalidad de tener una oxidación bacteriana.

Este tipo de lagunas aireadas trabaja con una turbulencia para lograr que la materia se encuentra en suspensión, teniendo una duración el proceso entre 6 a 12 horas para lograr que los sólidos se lleguen a separar mediante la decantación.

1.2.3.2. Proceso de Lodos Activados

En comparación al anterior proceso, en esta etapa el agua servida es agitada mediante el uso de bombas, manteniendo así las materias sólidas en suspensión con un oxígeno dentro del mismo.

Una vez la materia organiza flocula empieza la decantación, para que una parte de la materia sedimentada retorne para un tratamiento biológico y el resto sea empleado como lodo. Esto se realiza con la finalidad de mantener una población bacteriana adecuada para la realización de todo el proceso.

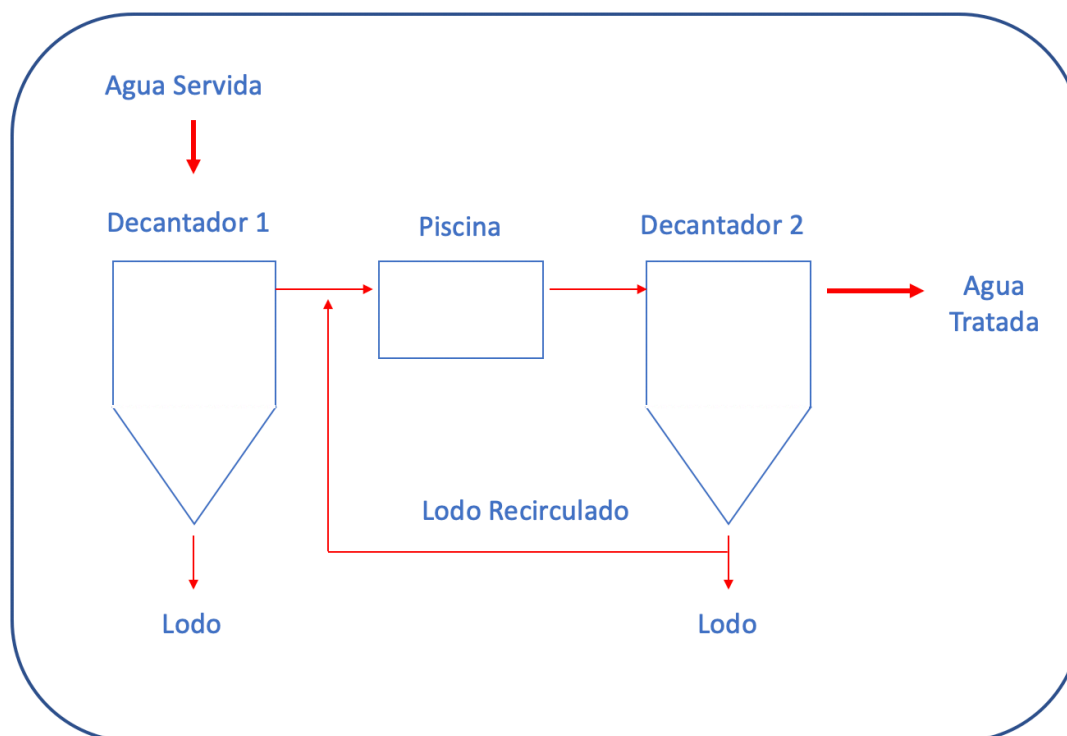


Figura 4. “Esquema de Proceso de Lodos Activados”
Nota: Extraído de FONAM (6)

Todo el proceso se lleva a cabo en un tiempo aproximado de 6 horas, logrando tener una gran ventaja con relación a la efectividad, pero a pesar de ello no termina de eliminar todas las bacterias patógenas.

1.2.3.3. Procesos Anaerobios

En este proceso no se hace uso de oxígeno lo que genera que la instalación de los recipientes herméticos donde se realizan todos los procesos microbiológicos con el fin de obtener una cantidad de lodos.

Existen distintos procesos anaerobios, entre ellos tenemos los tanques sépticos, así como los reactores anaerobios.

A pesar que no emplea oxígeno y reduce la cantidad de costos y lodos a producir, una clara desventaja que genera este tipo de procesos es que requiere mucho mayor el tiempo de contacto o retención hidráulica para poder tratar así un volumen de agua, los cuales no son realmente grandes.

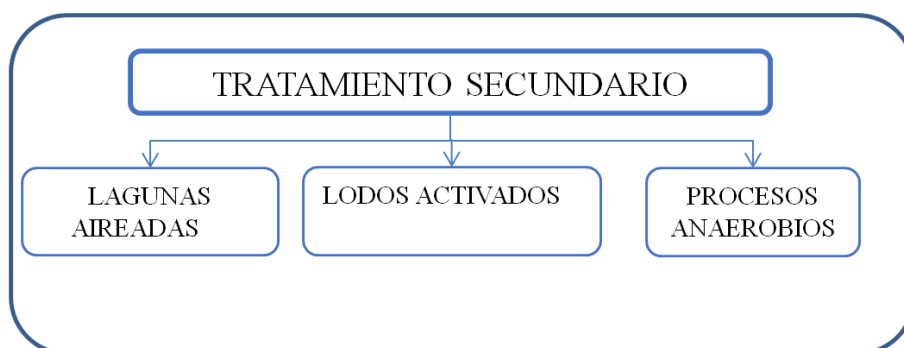


Figura 5: Procesos para el Tratamiento Secundario de AR

Nota: Extraído de FONAM (6)

1.2.3.4. Lagunas facultativas

Los estanques en los que la estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, se conocen con el nombre de estanques de estabilización facultativos (aerobios-anaerobios) (8) .

Descripción del proceso.

Como se puede apreciar en la Figura 6 en un estanque facultativo existen tres zonas: 1) la Z. superficial en la que se desarrolla el metabolismo aerobio y algal cuya simbiosis permite la descontaminación del agua, 2) Z. Intermedia en donde se desarrolla el metabolismo aerobio y anaerobia, lo cual permite el desarrollo de bacterias facultativas para la remoción de materia orgánica y 3) Z. Inferior en donde se desarrolla el metabolismo anaerobio por la ausencia de oxígeno.

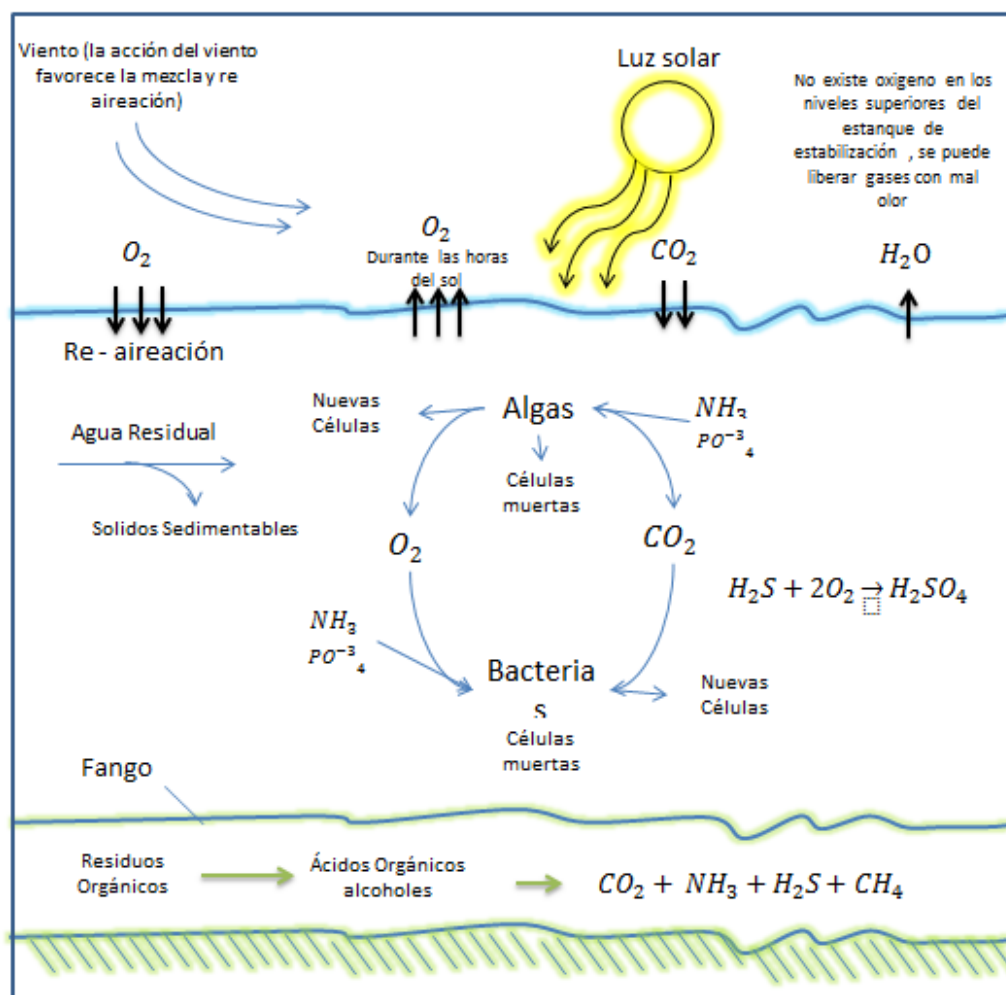


Figura 6: Representación esquemática del Tanque de Estabilización

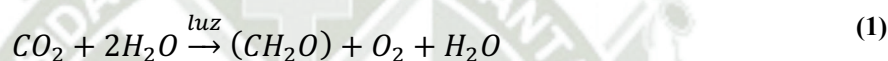
Fuente: Elaboración propia

Los estanques de estabilización facultativos son estructuras que reciben aguas residuales procedente del pre tratamiento o tratamiento primario, donde los sólidos gruesos aún presentes sedimentan hacia la zona anaerobia, mientras que la materia orgánica disuelta o coloidal es removida por las bacterias facultativas y aeróbicas. El proceso consiste en que el CO_2 , que se produce en el metabolismo aeróbico, es usado como alimento para las algas como fuente de carbono inorgánico (9).

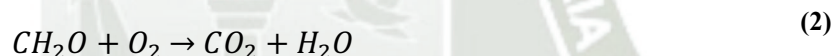
Bioquímica del proceso: El consorcio biológico de la zona superior tiene un comportamiento similar a los procesos aerobio convencionales (lodos activados, lagunas aireadas), mientras que el consorcio microbiano de la zona inferior tiene un metabolismo anaerobio y facultativo, por lo que la reacción neta que se produce es el oxígeno tal como muestra en la ecuación 1 y 2 representando a la fotosíntesis y respiración, respectivamente (9).

Debido a que las algas usan dióxido de carbono en su actividad fotosintética, ella puede dar lugar a condiciones de pH altos, especialmente en aguas

Fotosíntesis:



Respiración:



1.2.3.5. Aireación extendida

En este proceso se busca favorecer el metabolismo aeróbico mediante la aireación forzada mediante un sistema de aireación para favorecer la formación de flóculos, para lo cual es necesario la alimentación continua o en lote de agua residual al sistema. Entre el proceso convencional se tiene al lodo activado. El principal objetivo de dicho proceso es eliminar la materia orgánica disuelta presente en el agua residual. La operación consiste en que el agua residual a tratar ingresa a un tanque de aireación que al entrar en contacto con el licor mezcla inicia el proceso de degradación. Es importante mantener la aireación adecuada para evitar problemas de zonas anóxicas en algunas partes del reactor, asegurar la homogenización de entre el agua residual y el licor mezcla y evitar la sedimentación de los flóculos formados.

Para lograr la aireación en este proceso, se usan sistemas de aireación ya sea mediante sopladores que inyectan aire a través de difusores lo cual asegura la síntesis de nuevas células en el reactor biológico (9).

Una vez formado el flóculo y pasando el tiempo de retención hidráulica, el siguiente proceso es la separación del agua y el lodo formado por lo que dicho licor pasa a una unidad hidráulica llamado sedimentador. Finalmente, para mantener la cantidad de lodo en el reactor existe un flujo denominado Recirculación, que consiste en recircular el lodo sedimentado en el clarificador al tanque biológico.

Bioquímica del Proceso: La degradación de los contaminantes orgánicos precisa de una comunidad biológica importante, bacterias, rotíferos, protozoos, etc. Por esta razón es necesaria la comprensión de las actividades bioquímicas de estos microorganismos que participan en la depuración de las aguas y en la elección de los procesos en que ellos forman parte (9).

En la comunidad de organismos que participan en la degradación de los contaminantes es muy variada sin embargo existen 3 clases de fuentes de energía: 1) Luz como fuente para los organismos fotoautótrofos, 2) compuestos inorgánicos proveniente de la oxidación del N, S, Fe y Mn para los organismos quimiolitotróficos y 3) compuesto orgánicos proveniente de la oxidación del carbono orgánico para los organismos quimiorganotróficos (9).

En resumen, los organismos aeróbicos pueden obtener el carbono necesario (orgánico e inorgánico) de diversas fuentes ya sea internas.

La principal reacción que se produce en el proceso de depuración de las aguas residuales es:



Donde la materia orgánica es simplificada como glucosa $C_6H_{12}O_6$, mientras la biomasa es $C_5H_7NO_2$.

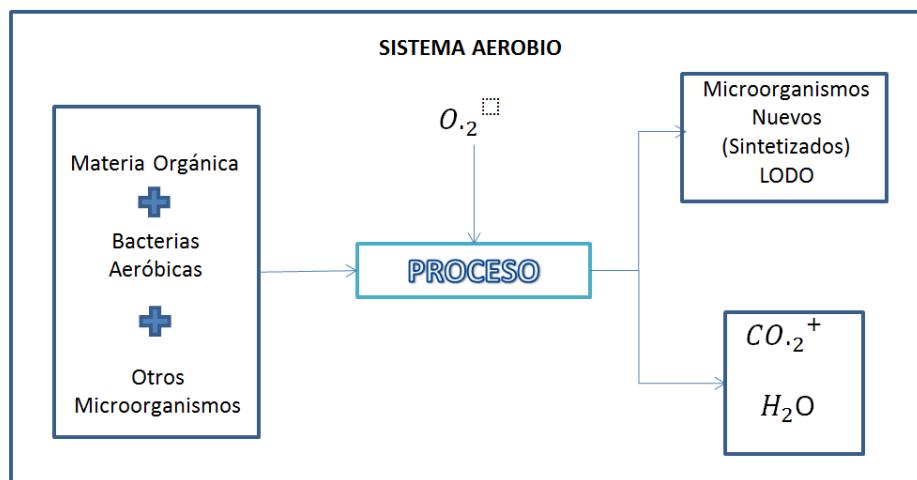


Figura 7: Esquema de Aireación

Sin embargo, adicional a la fuente de carbono, es necesario la presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo, los cuales son esenciales para la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos para la formación celular. Tanto el nitrógeno y fósforo se consideran macronutrientes. Por otro lado, la presencia de micronutrientes como Fe, Ca, Mg, K, Mo, Zn y Co se encuentra en menor proporción sin embargo cumplen un papel importante en el metabolismo celular.

Si observamos la ecuación química mundialmente aceptada para la biomasa ($C_5H_7NO_2$), observamos que contiene un 12.38 % de nitrógeno. Se asume que la cantidad de fósforo requerido para las actividades celulares es un 20 % de la masa de nitrógeno, entonces la fórmula de la biomasa vendrá a ser $C_5H_7NO_2P_{0.074}$.

1.2.3.6. Lecho móvil

En este proceso consiste en el crecimiento fijo en un lecho móvil de la biomasa microbiomasa en un medio plástico con un diseño determinado para tener un área superficial muy alta para el crecimiento en el reactor biológico aireado. Los lechos son de material plástico con densidad aproximada de 1 g/ml, lo cual permite que se pueda mover por el reactor por ser liviano. En

comparación los lechos fijos, que presentan inconvenientes de limpieza y atascamiento del lecho, esta tecnología es viable por su movilidad en el reactor, como ya se mencionó.

Los lechos bacterianos crecen en la superficie del Carrier formando una biopelícula caracterizada por polímeros excretados por los organismos presente que permiten que se adhieran a la superficie. Se describe como biopelícula a una estructura compleja formado por grupo de células densamente empaquetados y huecos, adherida a un material que puede ser de naturaleza a biótica como rocas, metales, vidrios o plásticos. y otra abiótica que puede ser carga orgánica proveniente del agua residual.

1.2.3.7.KALDNES® K1

Este medio se llama Kaldnes K1, el proceso lecho en movimiento, que ha sido científicamente probada en la cría de peces y en el tratamiento de aguas residuales.

Este medio de filtración ha sido diseñado como una forma de rueda con tres cámaras, y es ligeramente flotante. Esto permite hacer mover y circular el K1, con una pequeña cantidad de flujo de agua. Este flujo se produce por medio de su bomba de aire, las piedras de aire y el difusor, etc.

Tabla 4: Características de Lechos móviles KALDNES® K1

Especificación	Área de superficie	de	Números de embalaje	de	Proporción de dosificación	de	Eficiencia de nitrificación	de	Material
(mm)	(m ² / m ³)		(PC / m ³)		(%)		(Gnh ₄ -N / m ³ .d)		
Φ12 × 9	> 800		> 630000		15-17		400-1200		HDPE
Φ11 × 7	> 900		> 830000		15-68		400-1200		HDPE
Φ10 × 7	> 1000		> 850000		15-70		400-1200		HDPE
Φ16 × 10	> 800		> 260000		15-67		400-1200		HDPE

$\Phi 25 \times 12$	> 500	> 97000	15-65	400-1200	HDPE
$\Phi 25 \times 4$	> 1200	> 210000	15-65	500-1400	HDPE

Fuente: Extraído de <http://www.rdhmbbrbiomedia.com/mbbr-bio-media/kaldnes-k1-bio-media.html>

Tabla 5 Características de Lechos Móviles KALDNES® K1

Características

Material: Polietileno

Diámetro: 10 mm

Largo: 7 mm

Área Protegida :5000cm²/litro



Figura 8 Lechos móviles KALDNES® K1

Fuente: Fotografía Propia

El medio Kaldnes K1 está diseñado en forma de rueda y es ligeramente flotante. Esto les permite de flotar y de circular por toda la cámara con un flujo mínimo de agua. El aire se produce por medio de una bomba y se inyecta por las piedras de aire o por difusores.

El material filtrante Kaldnes K1 ofrece una enorme superficie por unidad de volumen (800 metros cuadrados / metro cúbico).

1.2.3.8. TAPAS PLÁSTICAS

El impacto ambiental que causa las tapas plásticas radica en que no reciclables debido a que en mayor proporción son del tipo 5 o Polipropileno (PP), el cual no se ajusta a los programas de reciclaje debido a su dificultad. Por otro lado, las características de las tapas como pintura, pegamentos entre otros hacen que el costo de limpieza sea elevado y costoso.

Otro problema que presenta el reciclaje de tapas de plástico son los diferentes materiales, pinturas, pegantes y aislantes que tienen las tapas, estos hacen que el lavado de las tapas sea dispendioso y costoso, pues en algunos casos hay que hacer este proceso por separado, esto hace que en ocasiones sea más costoso reciclar que rehacer la tapa.

Entonces debido a la dificultad de reciclar las tapas plásticas, esto causa notorios daños al medio ambiente, es por ello que es mejor darle un uso mediante la reutilización.

1.2.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario o tratamiento pulidor tiene como principal objetivo eliminar la contaminación como carga orgánica, color, microorganismos, olor, nitratos o fosfatos. El proceso más usado es la cloración.

Cabe mencionar que en un punto importante en el tratamiento de aguas residuales es la gestión de lodos proveniente de proceso primario y secundario como se observa en la figura 9.

En conclusión, son cuatro procesos de tratamiento que se aplican a las aguas residuales domésticas como residuales.

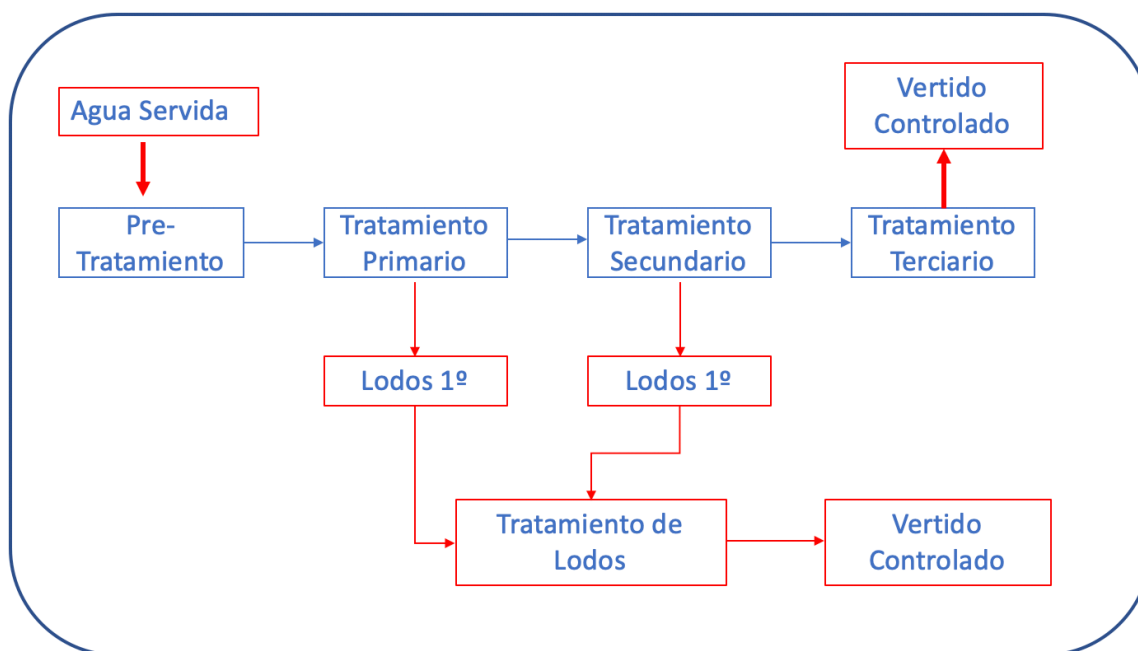


Figura 9. Secuencia Completa de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas

Fuente: Extraído de FONAM (6)

1.3. Tratamiento De Aguas Residuales En El Perú

1.3.1. Tecnologías utilizadas en el PERU para el tratamiento de AR

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), en el año 2015 realizó el estudio “DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO DE OPERACIÓN DE LAS ENTIDADES PRESTADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO”, dando a conocer que las plantas de tratamiento de aguas residuales que existen en el Perú hasta el año 2015 tenemos:

- Lagunas Facultativas
- Lagunas aireadas
- Lodos Activados
- Filtros percoladores
- RAFA

- Lagunas Anaerobias

Asimismo, el estudio reveló que de las PTAR existentes un 61 % aplican tecnología de lagunas de facultativas y un 13% de PTAR utilizan una combinación con lagunas anaerobias. Dejando un 4% utilizan lagunas aireadas, como se puede apreciar en la figura 9.

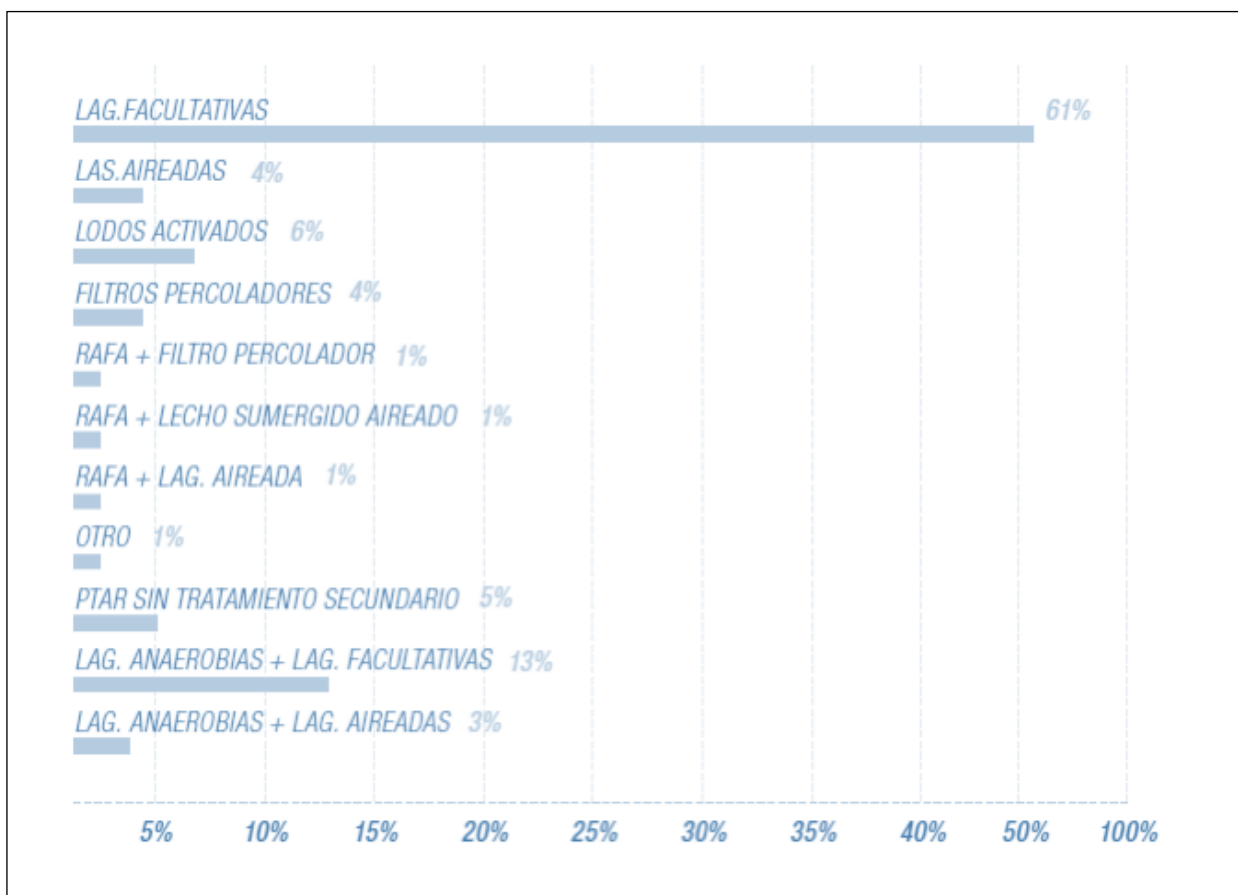


Figura 10: Tecnologías usadas en las Plantas de Tratamiento Secundario en el Perú

Fuente: Información recopilada por la SUNASS de las EPS en septiembre de 2015

Probablemente la principal causa de que en el Perú las empresas prestadoras de servicios (EPS) de saneamiento hayan invertido en la construcción de PTAR con lagunas de estabilización del tipo facultativo se deba a su bajo costo de inversión, operación, mantenimiento y a la elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica en comparación con otras tecnologías.

1.3.2. Problemática de las PTAR en el Perú

Una de los principales problemas en las PTAR es el diseño ya que la disponibilidad de terreno sobre todo en zonas urbanas es escaza, Como ejemplo podemos observar en la tabla 6 que una PTAR de 500 l/s con lagunas facultativas necesitaría 43.2 hectáreas de terreno, mientras que el requerimiento de terreno con las otras alternativas no supera las cinco hectáreas.

Tabla 6 *Requerimientos de área por tipo de tecnología para PTAR de 500 l/s*

TECNOLOGIA	T (DIAS)	H(M)	AREA (HA)	PROM
Lagunas Facultativas	10-20	1.5	43.20	
Lagunas Airearas	2-7	3-5	4.86	
Lagunas Anaerobias	1-5	2.5-5	3.46	
Lodos Activados	0.6 - 2	<5	1.87	

Fuente: Norma OS.090 (10)

Otro problema de las PTAR es la capacidad utilizada esto debido a sobrecarga orgánica, que ocasiona la falta de monitoreo de DBO_5 lo que no permite que el efluente cumpla lo LMP., también afecta la capacidad de los PTAR la sobrecarga hidráulica que es cuando el caudal de operación es mayor al caudal de diseño, lo cual podríamos agilizar si disminuimos el tiempo de retención total en el tratamiento.

El principal problema y que alarma a los organismos de fiscalizadores es la calidad de efluentes los cuales no llegan a cumplir con los LMP para su disposición final, como podemos observar en la tabla 7 la mayoría de los efluentes de los PTAR son revertidos a un cuerpo natural.

Tabla 7 *Disposición Final de los efluentes de las PTAR*

PTAR	CUERPO NATURAL			CANAL DE DRENAJE	QUEBRADA SECA	FALTA PUNTO DE VERTIMIENTO	OTRO	REUSO
	RIO	LAGO	MAR					
TOTAL	37	1	11	63	19	22	10	76

Fuente: Extraído de SUNASS (2)

1.4. Microorganismos Eficaces para el Tratamiento de Aguas residuales

Para el tratamiento del agua residual domestica por un tratamiento biológico reducción de la materia orgánica es el principal objetivo y dependiendo del ARD la reducción de nutrientes como el nitrógeno y fósforo.

El papel de los microorganismos cumple un múltiple propósito: 1) eliminación de DBO, 2) coagulación de sólidos coloidales no sedimentables y 3) la estabilización de materia orgánica.

Para poder funcionar y reproducirse el organismo bacteriano necesita; fuente de energía, para la síntesis de materia nueva necesita carbono y elementos inorgánicos (nutrientes tales como nitrógeno, fosforo, azufre, potasio, calcio y magnesio.

Como principal fuente de carbono se utiliza la materia orgánica y dióxido de carbono (CO_2), los organismos que utilizan materia orgánica se le denominan heterótrofos, mientras que los que utilizan dióxido de carbono se le denomina autótrofos.

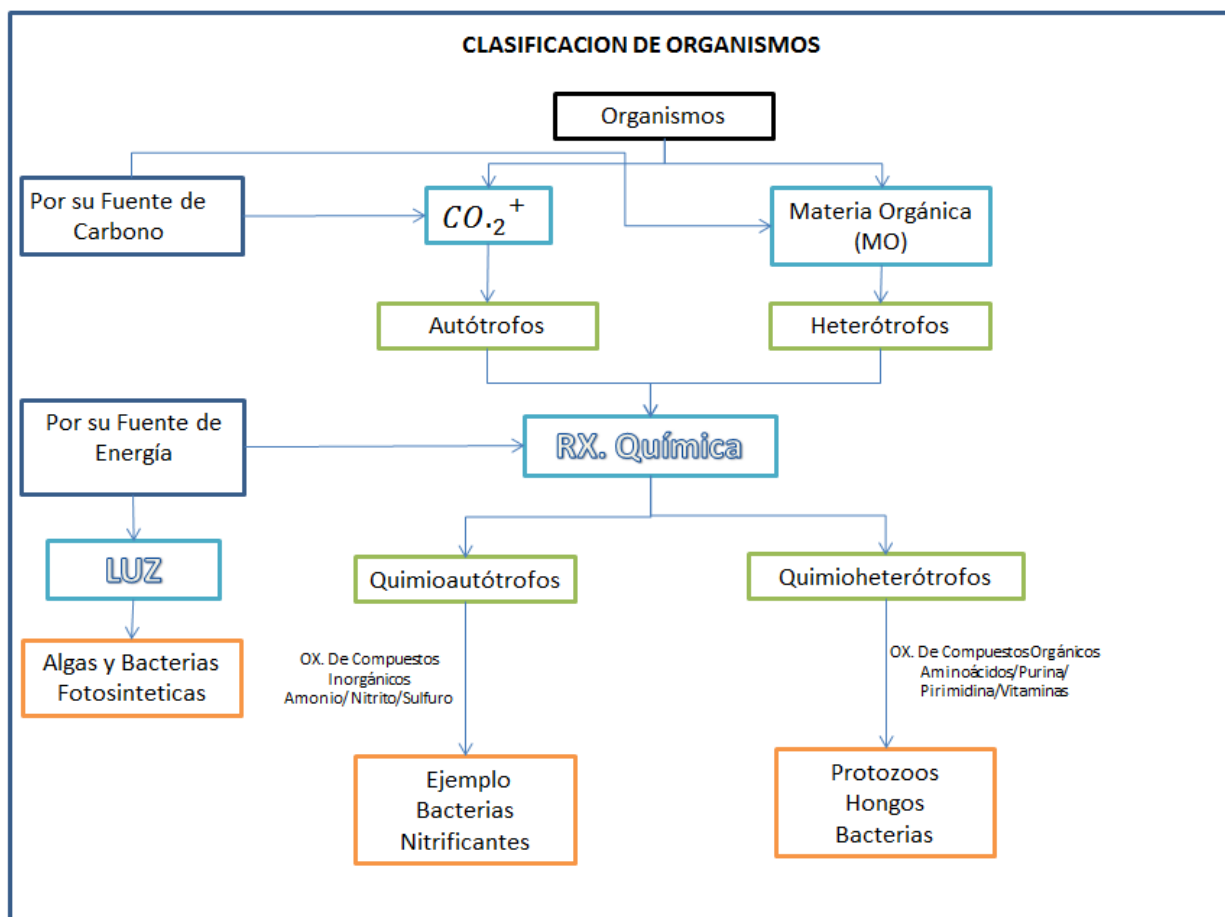


Figura 11 Clasificación de Organismos por fuente de carbono y energía.

Fuente: Elaboración Propia

El término "microorganismo eficaz" o "Efficiency microorganism" (EM) en inglés se utiliza para referirse a un cultivo mixto específico de microorganismos beneficiosos conocidos que son eficaces como inoculantes microbianos. EM es una tecnología desarrollada por el Dr. Teruo Higa de la ciudad de Okinawa, Japón en la década de 1980 y se ha utilizado en diversos campos, como la agricultura, la ganadería y la restauración ambiental. Actualmente se distribuye ampliamente.

La EM es un cultivo mixto de microorganismos no modificados genéticamente con diferentes tipos de metabolismo, que cuando aparecen juntos presentan una relación sinérgica, cooperativa y simbiótica. Los estudios sobre las interacciones entre diferentes miembros de la comunidad

microbiana han demostrado repetidamente que estas combinaciones son más eficientes en el proceso de degradación que los estudios que involucran solo una combinación. El Dr. Higa lo descubrió al combinar microorganismos con diversas características metabólicas.

Los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos en sustancias no tóxicas (11), propiedades desionizantes que favorecen la detoxificación de sustancias peligrosas, quelación de metales pesados, producción de enzimas como la lignina peroxidasa, entre otras (12).

Aunque la EM se ha aplicado con éxito a muchos aspectos de la gestión ambiental, no hay muchos informes científicos sobre su aplicación en aguas residuales. La razón por la que la EM se utiliza en el tratamiento de aguas residuales es porque los microorganismos que contiene secretan ácidos orgánicos, enzimas y antioxidantes. Oxidantes y metales. Los agentes quelantes crean un ambiente antioxidante que facilita el proceso de separación sólido / líquido, que es la base de la purificación del agua.

1.5. Microorganismos nativos que descomponen la materia orgánica

Se mencionan los diferentes microorganismos que descomponen la materia orgánica, entre los que podemos mencionar: *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, *Rhodospirillaceae*, *Trichoderma*. Y las que describimos en ellas que han sido descubiertas y utilizadas en este trabajo de investigación.

1.5.1. Aspergillus

Una de las especies más comunes de hongos filamentosos es *Aspergillus*. Es un hongo filamentoso del género *Deuteromycetes* u hongos incompletos, que se caracteriza por tener esporas o estructuras reproductivas llamadas conidios. *Aspergillus* es un hongo que se propaga

ampliamente en la naturaleza porque crece en la descomposición de vegetales, granos, tejidos de algodón, lana y plumas; su ambiente es un ambiente oscuro, húmedo y cerrado (13). Las esporas de *Aspergillus* se pueden encontrar en graneros, sitios de construcción, acondicionadores de aire y alimentos enmohecidos. Las esporas de este hongo pueden sobrevivir durante miles de años en condiciones adecuadas; las esporas de *A. niger* y *A. flavus* se han encontrado en la comida, la ropa, las flores y otros objetos de la tumba del antiguo faraón egipcio.

En las primeras etapas de su crecimiento, *Aspergillus niger* forma colonias de micelios lanudos de color blanco o amarillo claro; a medida que se desarrolla, la superficie de las micelas se cubre de diámetro y se llenan de esporas negras. Este hongo es un importante productor de ácidos orgánicos, principalmente ácido glucónico, ácido cítrico y ácido oxálico; también se utiliza para la obtención de enzimas como la glucoamilasa y la 1- α -galactosidasa, por lo que se cultiva ampliamente utilizado en la producción industrial de estos compuestos.

1.5.2. *Lactobacillus*

Entre los microorganismos que constituyen la EM multicultural, los más abundantes son las bacterias del ácido láctico. Estos microorganismos producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos producidos por bacterias fotosintéticas y levaduras como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas, que puede inhibir los microorganismos patógenos y al mismo tiempo ayudar a la descomposición de la materia orgánica. Incluso en el caso de compuestos rebeldes como la lignina o la celulosa, también ayuda a evitar los efectos negativos de las sustancias (14).

No existe mucha información precisa sobre el modo de acción de las bacterias del ácido láctico en el tratamiento de agua contaminada, pero considerando sus características, se recomienda reducir el valor del pH para inhibir patógenos. Solo el ácido láctico es responsable del efecto

antibacteriano producido por *Lactobacillus*. Se determinó que parte del comportamiento antagonista contra los patógenos del ácido láctico se debe a la producción de péptidos antimicrobianos y compuestos de bajo peso molecular, como las bacteriocinas de clase I y la nisina, un péptido de 34 carbonos que es activo contra las bacterias del ácido láctico. La mayoría de las bacterias grampositivas (15).

En cuanto a los requerimientos de crecimiento de las bacterias del ácido láctico, generalmente se encuentran microaerobios, por lo que debe asegurarse que el cultivo se realice en una atmósfera que contenga un 5% de CO₂. Generalmente, cultivar a 37 ° C durante 3 días a 30 ° C hasta por 5 días para su crecimiento, ya que son microorganismos de crecimiento relativamente lento y su producción metabólica depende directamente de la temperatura (16).

1.5.3. *Saccharomyces cerevisiae*

S. cerevisiae es una especie de levadura, que son eucariotas unicelulares, por lo que su estructura consiste en paredes celulares, núcleos diferenciados y orgánulos (como ribosomas y mitocondrias). La formación de cápsulas de polisacáridos, la presencia o ausencia de vacuolas y el desarrollo de mitocondrias dependen de las condiciones físicas y químicas y de la edad del cultivo (17).

1.5.4. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una bacteria grampositiva aeróbica facultativa que se encuentra comúnmente en el suelo. Como miembro del género *Bacillus*, *Bacillus subtilis* puede formar endosporas protectoras resistentes, lo que permite a los organismos tolerar condiciones ambientales extremas, que es otra característica del género *Bacillus*. La producción de enzimas hidrolíticas ayuda a mejorar el aprovechamiento de los alimentos. Estos incluyen proteasas, amilasas y glicosidasas, que pueden descomponer moléculas complejas de alimentos y convertirlas

en nutrientes más simples. Estos compuestos pueden ser absorbidos más rápidamente por los animales o pueden ser utilizados por otras bacterias beneficiosas para establecer un microbiota intestinal equilibrada.

El uso de bacterias *Bacillus* y sus endosporas también depende de su capacidad para producir enzimas. Además de mejorar la digestión del huésped, estas enzimas también pueden inhibir el crecimiento de bacterias dañinas (18).

1.6. Perspectivas Futuras

Si bien es cierto existen investigaciones que demuestran la eficiencia de la aplicación de los lechos móviles en muchos lugares del mundo, nunca se ha practicado una investigación de este tipo sobre residuales domésticos del Perú y menos para residuales de la ciudad de Arequipa. De esta forma podemos afirmar que los resultados de la presente investigación, de ser positivos, permitirán una mayor confianza sobre la aplicación de los lechos fluidizados para la depuración de residuales domésticos en nuestra ciudad y en el Perú.

Además, que podemos intentar utilizar otros medios e inclusive material de reciclaje; como las Tapas plásticas; que contengan las características para que actúen como un lecho móvil comercial.

Asimismo, evaluar si es viable económicamente y aplicable a las planas de aguas residuales domésticas tradicionales existentes en el Perú.

1.7. Normativa legal ambiental

- Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente y su modificatoria D.L. N° 1055
- Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos
- D.S. N° 001-2010-AG – Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos

- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM .- Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales



CAPITULO II

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa, en el Laboratorio de H-101 de Operaciones Unitarias y el Laboratorio de Microbiología H – 302.

2.2. Unidades de Estudio

Sistema de Planta de Tratamiento de aguas Residuales Domésticas de depuración de residuales domésticos PTAR por aireación extendida, compuesta por una unidad cámara de aireación.

2.3. Material

2.3.1. Equipos

- Multiparámetro Hanna HI 9828.
- pHmetro827 pH lab MetrohmSwissmade.
- Conductímetro.
- Balanza gravimétrica Scout Pro 200 g OHAUS HW. Kessel S.A.
- Balanza gravimétrica OHAUS Pioneer™.
- Estufa Fisher Scientific.
- Incubadora Fisher Scientific Isotemp Incubator.
- Microscopio ZEIZZ Primo Star HW. Kessel S.A.
- Autoclave Beltec Scientific S.R.L. Modelo LS-B50L.
- Refrigeradora Coldex.
- Cocinilla y Mechero Bunsen.

- Cronómetro.

2.3.2. Materiales de Laboratorio

- Coolers
- Buretas volumétricas de 25 ml DURAN.
- Probetas de 1000, 100 y 50 ml DURAN.
- Matraces Erlenmeyer de 250 ± 50 ml DURAN.
- Fiolas aforadas de 250, 100 y 50 ml DURAN.
- Beakers de 500, 250 y 100 ml DURAN.
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml DURAN.
- Micropipetas 50-200 μ l y 200- 1000 μ l ROTH.
- Condensador Friedrich DURAN.
- Frascos de Winkler DHS BOD.
- Embudos de vidrio.
- Frascos para preparación de medios microbiológicos 1000, 250 y 100 ml BOECO Germany.
- Placas Petri (DIPROQUIM).
- Tubos de Ensayo de 15 x 10 DURAN.
- Campanas de Durham (DIPROQUIM).
- Gradillas.
- Asa de Khol.
- Soporte universal.
- Espátula.
- Papel filtro.

2.3.3. Reactivos

- Agua para dilución o desionizada con una conductividad menor que 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μS = microsiemens).
- Agua destilada.
- Dicromato de Potasio K_2CrO_4 G,P (Sigma SRL).
- Reactivo Indol de Kovacs
- Carbonato de sodio, Na_2CO_3 (Merck)
- Ácido sulfúrico concentrado (Sigma SRL)
- Fosfato de Potasio Monobásico, KH_2PO_4 G,P (Delta Química).
- Fosfato de Potasio Dibásico, K_2HPO_4 G,P (Delta Química).
- Fosfato de Sodio Dibásico, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Delta Química).
- Cloruro de Amonio, NH_4Cl G,P (Delta Química).
- Sulfato de Magnesio Heptahidratado, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ G,P (Delta Química).
- Cloruro de Calcio, CaCl_2 G,P (Delta Química).
- Ácido Sulfúrico concentrado, H_2SO_4 (Merck).
- Hidróxido de Sodio NaOH (Delta Química).
- Sulfito de Sodio NaSO_3 G,P (Delta Química).
- Cloruro Ferrico $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck).
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ G,P (Merck).
- Sulfato de plata (Ag_2SO_4) G,P (Merck).
- Fenantrolina $(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)$ G,P (Merck).
- Sulfato mercúrico (HgSO_4) G,P (Merck).
- Biftalato de potasio patrón primario $(\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK})$ G,P (Merck).

- Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) G,P (Merck).
- Caldo Lactosado (Merck)
- Caldo Selenito (Merck)
- (Merck)
- Agar SS (Merck)
- Caldo Triptona (Merck)
- Agar Nutritivo (Merck)
- Agar MuellerHinton (Merck)
- Agar Mc Conkey (Merck)
- Agar TCBS (Merck)
- Agar Cetrimida (Merck)
- Agar EMB (Merck)
- Agar Baird Parker (Merck)
- Agar Sangre (Merck)
- Agar Sabouraud (Merck)
- Medio LIA (Merck)
- Medio TSI (Merck)
- Medio KIA (Merck)
- Medio SIM (Merck)
- Medio Citrato de Simons (Merck)
- Caldo MPVP (Merck)
- Medio Urea (Merck)
- Medio Nitrato (Merck)
- Medio O/F (Merck)
- Oxidasa
- Catalasa

2.3.4. Material Anexo

- Algodón.
- Guantes de látex.
- Detergente.
- Escobillas.
- Franela.
- Frasco de vidrio con tapa hermética
- Guantes quirúrgicos estériles.
- Marcador.
- Tijera.
- Balde transparente de 8 litros con tapa hermética.
- Jarra de 2 litros.
- Bolsas Cierre Hermético ZIPLOC.
- Papel Aluminio.

2.3.5. Material para SAE

- Vidrio transparente de 5 mm de espesor.
- Acrílico transparente de 5 mm de espesor.
- Compresora de Aire.
- Mangueras de Plástico.
- Difusores de Aire.
- Aire a presión (Compresora de Aire).
- Mangueras de Plástico PVC.
- Difusores de Aire de piedra volcánica.

2.4. Metodología

2.4.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente.

2.4.1.1. Caracterización Fisicoquímica

A. Determinación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Agua.

Se verificó que el Electrodo de Oxígeno Disuelto esté conectado al Multiparámetro Hanna, antes de utilizarlo se calibro el electrodo, luego de la verificación de la calibración se enjuaga con agua purificada.

Se toma en un vaso precipitado de 500 ml, se enjuaga el vaso con la muestra antes de introducir el electrodo por lo menos tres veces, luego se agrega el volumen correspondiente, se introducirá el electrodo recién calibrado, se esperará a que se estabilice y se registrará los datos.

Luego se procederá a enjuagar con agua purificada, y se verificará que no queden rastros del material analizado, se seca con papel tisúes suavemente y se procede a colocar el protector del electrodo.

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
OXIGENO DISUELTO OD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 22nd Ed.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.

B. Determinación de Conductividad

Primero se verificará que se conductímetro se encuentre en buen estado, se procederá a encenderlo presionando la tecla ON OFF y espero a que se estabilice.

Se enjuagará el vaso precipitado con la muestra antes de introducir el conductímetro por lo menos tres veces, se esperará a que se estabilice y se tomará la lectura de la conductividad en μS (*microsiemens*).

Se retirará el conductímetro se enjuagará con agua destilada y luego se secar con papel tisúes, se apagará presionando la tecla ON OFF, guardar.

Antes de realizar una próxima lectura se enjuagará el bulbo del conductímetro con agua purificada o desionizada, y procederá como en los pasos anteriores.

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
CONDUCTIVIDAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed.	Conductivity. Laboratory Method.

C. Determinación de pH

Se encenderá presionando la tecla ON, luego se enjuagará el electrodo con agua destilada y se procederá a calibrar el pH metro, se presionará RANGE y se escogió la opción para medir el pH luego se realizará la verificación y ajuste con los buffers 4, 7 y 10 respectivamente, después de ser verificada la calibración se enjuaga con agua purificada.

Se enjuagará el vaso precipitado con la muestra antes de introducir el electrodo por lo menos tres veces En un vaso colocar la muestra e introducir el electrodo, se esperó que se estabilice la lectura y se registran los datos.

Luego se procederá a enjuagar con agua purificada, y se verificará que no queden rastros del material analizado, y se secará con papel tisúes suavemente y se procederá a

colocar el protector del electrodo. Una vez finalizada el material a analizar apagar el equipo presionando OFF.

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	pH Value. Electrometric Method

D. Determinación de la DBO5: Análisis se realizó en Corlab S.A

Parámetro	Método de Referencia	Descripción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 B, 21St Edition, 2005	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 Days BOD Test

E. Determinación de la DQO Análisis se realizó En Corlab S.A

Parámetro	Método de Referencia	Descripción
Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D, 21St Edition, 2005	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 Days BOD Test

2.4.1.2. Caracterización Microbiológica

Medio Cultivo	Uso	Temperatura	Pruebas Bioquímicas	Coloraciones
Agar Nutritivo	Crecimiento de todos los microorganismos	37° C		Tinción Gram

<i>Mc Conkey</i>	<i>Crecimiento Gram</i>	<i>37ª C</i>	<i>Degradación Lactosa</i>	<i>de Tinción Gram</i>
<i>Agar Sangre + Neomicina</i>	<i>Crecimiento de Strptococcus Faecalis</i>	<i>37ª C</i>	<i>Prueba Bioquímica Catalasa</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar EMB</i>	<i>Crecimiento de Staphylococcus Micrococcus</i>	<i>37ª C</i>	<i>Prueba Bioquímica Catalasa</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar S.S</i>	<i>Desarrollo de Salmonella Shigella</i>	<i>37ª C</i>	<i>Prueba TSI</i> <i>Prueba LIA</i> <i>Prueba Citrato</i> <i>Prueba de Ureasa</i> <i>Prueba IMVIC</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar T.C.B.S</i>	<i>Crecimiento de Vibrio, Vibrio Cholerae</i>	<i>37ª C</i>	<i>Prueba TSI</i> <i>Prueba LIA</i> <i>Prueba Citrato</i> <i>Prueba de Ureasa</i> <i>Prueba IMVIC</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar Cetrimida</i>	<i>Crecimiento de Pseudomona</i>	<i>37ª C</i>	<i>Prueba Oxidasa</i> <i>Positivo</i> <i>Oxido Fermentación</i> <i>Prueba de Citrato</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar Sabouraud + Clotanfénicol</i>	<i>Crecimiento de Levaduras, el Cloranfenicol inhibe el crecimiento de Bacterias Gram Positivo y Gram negativo</i>	<i>24 °C</i>	<i>-</i>	<i>Tinción Azul de Lactofenol</i>

Fuente: Jave Márquez, Mercedes. Guía de prácticas de microbiología I, Practica 6, 8, 9 y 14. Perú- 2006.

2.4.2. Diseño, construcción y operación de un Sistema de Aireación Extendida (SAE) con Lechos Móviles (LM) a escala laboratorio

I. Diseño

A. Determinación de Carga superficial máxima

El diseño del Módulo Piloto de Aireación Extendida, se calculó según la referencia bibliográfica del Manual “Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de lagunas de Estabilización de países en Desarrollo” (19)

Donde para determinar el **área requerida del SAE** se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_F = \frac{10 \cdot L_A \cdot Q_{med}}{CS_M} \quad (3)$$

Dónde:

A_F = el area de la laguna facultativa (m^2)

L_A = la concentracion promedio de DBO_5 en el afluente (mg/L)

Q_{med} = el caudal promedio (m^3/dia)

CS_M = la carga superficial maxima , ($kgDBO_5 /ha - dia$)

Para determinar la **carga superficial máxima** $kgDBO_5 /ha - dia$ se utilizó la siguiente ecuación:

$$CS_M = 250 \times 1.085^{t-20} \quad (4)$$

Dónde:

CS_M = la carga superficial maxima , ($kgDBO_5 /ha - dia$)

t = temperatura del agua del mes mas frio en $^{\circ}C$

Para calcular las medidas del SAE se utilizara la **relación de largo/ancho** (19)

$$\frac{L}{A} \leq \frac{2}{1} \quad (5)$$

Profundidad de Laguna: de 1.5 – 2.5 m

B. Determinación de Número de Difusores

El número de difusores se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Numero de difusores} = \frac{VA}{\text{Capacidad de difusor}}$$

Donde

VA= Volumen o caudal de aire requerido.

**En el experimento de planta piloto el número de difusores fue determinado arbitrariamente. El área dentro del reactor piloto era limitada. El número de difusores ubicados fue 8 unidades. Para el control de la concentración de oxígeno disuelto se regulo el caudal de aire comprimido.*

C. Determinación de Área de Contacto del Sistema de Aireación Extendida (SAE)

a. Área del Lecho Móvil

Kaldnes K1: Este dato se obtuvo de la Ficha Técnica de los Lechos Móviles, la cual se multiplicará por la cantidad (unidades) de Lechos Móviles contenidos en 3 litros.

Tapas Plásticas: Para hallar el área de contacto se empleó la fórmula del área de un Cilindro, se calculará el área Interior y el Área Exterior, para luego sumarlas y hallar el área total de contacto.

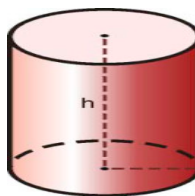


Figura 12 Área del cilindro donde (h) es la altura (r) radio.

Fuente: Elaboración propia

Tenemos que:

$$A_{tp} = A_L + A_C \quad (6)$$

Desarrollando la fórmula:

$$p = 2\pi r \times h + \pi r^2 \quad (7)$$

Donde:

A_C = Área de la circunferencia

A_L = Área lateral del cilindro

h = altura

r = radio

Cálculo del Área total, consta de la suma del área Externa (A_e) con la Área Interna (A_i)

Así Tenemos:

$$A_{tc} = A_e + A_i \quad (8)$$

Desarrollando Con la formula (2)

$$A_{tc} = (2\pi r \cdot h + \pi r^2)_e + (2\pi r \cdot h + \pi r^2)_i \quad (9)$$

b. Área de contacto del SAE (A_{SAE})

Usando la fórmula de Área de un Ortoedro se halla por la suma de las áreas de sus caras.

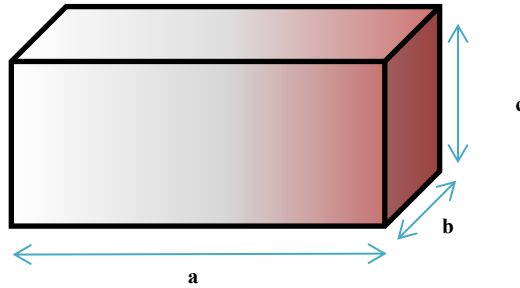


Figura 13: Área de un octaedro, donde (a) es el largo, (b) es la profundidad y (c) es la altura (Fuente: Elaboración Propia)

Formula de ortoedro:

$$A_{SAE} = ab + 2ac + 2bc \quad (10)$$

Área de Contacto Total.

Se consideró la siguiente ecuación para esta determinación:

$$A = A_{SAE} + A_{LM} \quad (11)$$

Dónde:

A : Área total de contacto

A_{SAE} : Área de contacto interior tanque aireado (estructura)

A_{LM} : Área de contacto total de lechos móviles, ya sea Kaldnes K1 o tapas.

Determinar el área de contacto total para cada una de las pruebas.

II. Construcción Sistema de Aireación Extendida (SAE)

a. Cámara de Aireación

Se cortó la plancha de vidrio de 5 mm de las dimensiones calculadas en la etapa de Diseño, luego se pegaron las planchas con Silicona para vidrio Transparente,

dejándolas fijas por 24 horas para que seque la Silicona.

b. Sistema de Aireación

Se utilizaron 08 difusores de Aire de piedra volcánica con las siguientes características:

- Diámetro: 4 cm
- Tamaño de Burbuja: ≤ 1 mm

Los difusores fueron distribuidos de forma que cubrieran la mayor área de la base de la cámara de aireación, esto se consiguió utilizando conectores tipo T y manguera de plástico de 0.5 mm.

El sistema de aireación, necesitara la cantidad de oxígeno disuelto que se mantenga por encima de 2 ml L-1 para una eliminación eficiente de DBO.

III. Toma de Muestra de Aguas residuales Domésticas

La muestra de licor puro se tomó después de Desarenador Nro. 1 de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chilpina, en el Departamento de Arequipa.

Se recolecto 12 litros de Muestra con las medidas de protección necesaria; barbijo, guantes y gorro.

III. Operación de SAE

Para poner en operación el SAE se debe considero como insumos principales el agua residual doméstica recolectada de Chilpina, y la dosificación de oxígeno, para poder comenzar con la depuración. En el Flujograma de operación (Figura 14) se observa la metodología empleo para las pruebas experimentales.

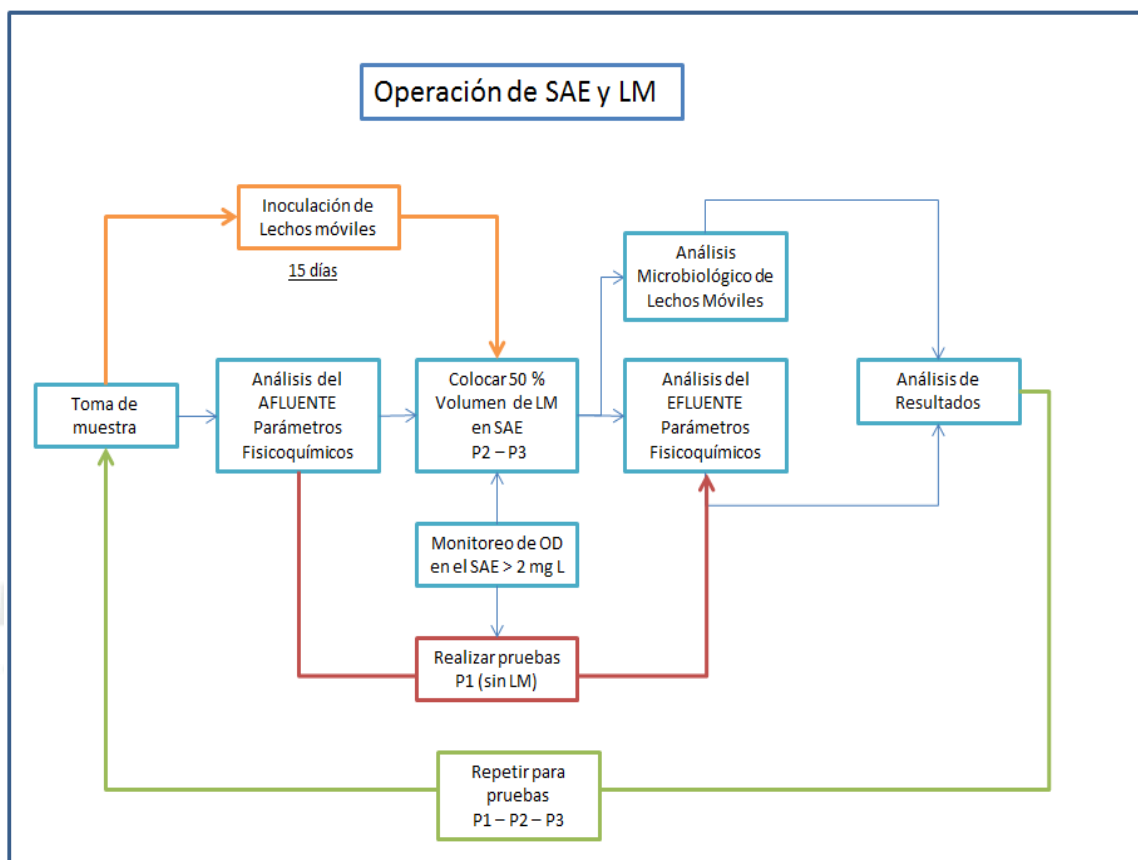


Figura 14 Flujograma de Operación de SAE y LM

Fuente: Elaboración Propia

a. Inoculación de Lechos Móviles (20)

Se inoculó la biopelícula en los lechos móviles siguiendo este procedimiento:

1. Cargar en un balde el volumen de lechos móviles a usar.
2. Verter agua residual domésticas hasta cubrir por completo los lechos móviles.
3. Agregar azúcar (500 gramos aproximadamente).
4. Agitar hasta homogenizar por completo.
5. Dejar fermentar por 15 días.

b. Consideraciones de las pruebas:

- ✓ Primero se trabajó el ARD sin lecho móviles(P1), segundo con lechos Móviles

Kaldnes K1(P2) y tercero Lechos móviles alternativos Tapas plásticas(P3).

- ✓ Para las pruebas P2 y P3 se tomaron los lechos móviles inoculados y llevarlos al sistema de aireación y procesar.
- ✓ Se puso en operación el módulo teniendo en cuenta que se trabajara con un volumen de agua residual de 12 litros, el tiempo de residencia es de 24 horas y a un flujo constante de oxígeno entre 3 -4 ppm, teniendo en cuenta que la temperatura del agua debe estar entre 19 – 23 °C. Las pruebas en cada caso se repitieron 3 veces (P1-P2-P3)
- ✓ Es requisito indispensable realizar un corrido de análisis sobre el residual domestico colectado para la prueba en blanco (sin lechos móviles), este análisis debe de determinar los siguientes parámetros:
 - Demanda Química de Oxígeno
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno
 - Relación DQO/ DBO₅: A esta relación se le conoce como índice de biodegradabilidad.

Este parámetro nos ayudará a decidir en el tratamiento biológico:

$DQO/DBO = 1.5 \Rightarrow$ Materia orgánica muy degradable

$DQO/DBO = 2 \Rightarrow$ Materia orgánica moderadamente degradable

$DQO/DBO = 10 \Rightarrow$ Materia orgánica poco degradable

- Oxígeno Disuelto
- Conductividad
- pH

La muestra de residual tiene que cubrir correctamente el volumen delimitado para los ensayos.

2.4.3. Identificación los microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles.

a) Toma de muestra

1. Se tomó los lechos móviles especializados Kaldnes K1 y/o lechos móviles alternativos Tapas Plásticas según corresponda.
2. Se realizó un hisopado de la superficie de los lechos especializado, y alternativas tapas plásticas, en la zona donde este la biopelícula acumulada.

b) Análisis Microbiológicos

1. Se humedeció el hisopo en la solución diluyente estéril (10 ml Agua de peptona) y se presionó ligeramente en las paredes del tubo con un movimiento de rotación para quitar el exceso de solución.
2. Con el hisopo inclinado en un ángulo de 30° frotar 4 veces en la superficie
3. Se realizó diluciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}
4. Se identificaron Microorganismos en que podrían actuar en la depuración de las aguas residuales

Tabla 8 Cuadro de microorganismo y el medio de cultivo selectivo

Medio Cultivo	Uso	Temperatura	Pruebas Bioquímicas	Coloraciones
Agar Nutritivo	Crecimiento de todos los microorganismos	37 ^a C		Tinción Gram
Mc Conkey	Crecimiento Gram Negativos	37 ^a C	Degradación Lactosa	de Tinción Gram

<i>Agar Sangre + Neomicina</i>	<i>Crecimiento de Strptococcus Faecalis</i>	<i>37^a C</i>	<i>Prueba Catalasa</i> <i>Bioquímica</i> <i>Resultado Negativo</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar EMB</i>	<i>Crecimiento de Staphylococcus Micrococcus</i>	<i>37^a C</i>	<i>Prueba Catalasa</i> <i>Bioquímica</i> <i>Resultado Positivo</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar S.S</i>	<i>Desarrollo de Salmonella Shigella</i>	<i>37^a C</i>	<i>Prueba TSI</i> <i>Prueba LIA</i> <i>Prueba Citrato</i> <i>Prueba de Ureasa</i> <i>Prueba IMVIC</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar T.C.B.S</i>	<i>Crecimiento de Vibrio, Vibrio Cholerae</i>	<i>37^a C</i>	<i>Prueba TSI</i> <i>Prueba LIA</i> <i>Prueba Citrato</i> <i>Prueba de Ureasa</i> <i>Prueba IMVIC</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar Cetrimida</i>	<i>Crecimiento de Pseudomona</i>	<i>37^a C</i>	<i>Prueba Positivo</i> <i>Oxidasa</i> <i>Oxido Fermentación</i> <i>Prueba de Citrato</i>	<i>Tinción Gram</i>
<i>Agar Sabouraud + Clotofenicol</i>	<i>Crecimiento de Levaduras, el Cloranfenicol inhibe el crecimiento de Bacterias Gram Positivo y Gram negativo</i>	<i>24 °C</i>	-	<i>Tinción Azul de Lactofenol</i>

Fuente: Jave Márquez, Mercedes. Guía de prácticas de microbiología I, Practica 6, 8, 9 y 14. Perú- 2006.

c) Pruebas Bioquímicas

Una vez identificando las colonias en crecimiento, estas fueron aisladas en placas con Agar Nutritivo. Y se les realizaran las pruebas bioquímicas según corresponda después de la Tinción GRAM y las pruebas presuntivas.

- 1. Prueba Catalasa*
- 2. Prueba Oxidasa*
- 3. Prueba TSI*
- 4. Prueba KIA*
- 5. Prueba LIA*
- 6. Prueba SIM*
- 7. Prueba Citrato de Simons*
- 8. Prueba Nitrato*
- 9. Prueba Ureasa*
- 10. Prueba de O/F*
- 11. Prueba Caldo MRVP*

2.4.4. Determinación del aumento en la eficiencia de la depuración de aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE Y LM.

a) Cálculo de Eficiencias Operativas

De los parámetros DBO₅, DQO obtenidos en la construcción dese determinó eficiencias con las concentraciones de entrada y salida para cada parámetro; tal como lo señala la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{(\text{Entrada} - \text{Salida})}{\text{Entrada}} \times 100 \quad (12)$$

b) Comparación de Eficiencias Operativas entre Lagunas Facultativas Aireada (Pruebas sin Lechos) y SAE LM

Para esta comparación se elaborarán tablas y gráficos para comparar las eficiencias, luego se determinará la diferencia máxima, la mínima y la promedio.

Aumento en las Eficiencias (%) = Eficiencia Laguna Facultativa – Eficiencia SAE LM

c) Determinación de la disminución del tiempo de depuración de las ARD

Para la determinación de la disminución se debe de comparar los tiempos de retención hidráulica de una planta de tratamiento por lagunas facultativas versus la misma laguna con la implementación de Lechos móviles con un sistema de aireación SAE y LM.

2.5. Operacionalización de las variables

Variables	Definición	Dimensión	Indicador	Unidad
V.INDEPENDIENTE Sistema de aireación extendida (SAE) y lechos móviles (LM)	Sistema formado por pequeñas piezas suspendidas, generalmente de material plástico, que son movidas continuamente por acción del aire o por acción mecánica y que sirven como medio de adherencia de Biomasa en suspensión. (Alvarez Sanchez & Mavares Teran, 2015).	Diseño del sistema SAE	Carga superficial máxima	Kg DBO/ Ha-día
			Área requerida SAE	m ²
			Relación L:A:H	-
			Área de contacto	m ²
			Número de difusores	Unidades
		Parámetros de operación	TRH	Horas
			Oxígeno Disuelto	mg/l
			DQO	mg/l
			DBO	mg/l
			Oxígeno Disuelto	mg/l
V. DEPENDIENTE Biodepuración de aguas residuales domésticas (ARD)	Aguas Residuales “son 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” (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014)	Caracterización fisicoquímica	Conductividad	S/cm
			pH	-
			Microorganismos identificados	Presencia / Ausencia
			% Remoción de DBO	%
			% Remoción de DQO	%
		Remoción de contaminantes		

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente.

3.1.1. Caracterización Fisicoquímica

Tabla 9: Resultado de los parámetros fisicoquímicos de la Pruebas A, B y C

	A	B	C	
<i>PARAMETROS FISICOQUÍMICO</i>	<i>25/01/12</i>	<i>15/08/15</i>	<i>26/08/15</i>	<i>Promedio</i>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	421	502	581	501.30
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	845	915	862	874.00
Oxígeno Disuelto (mg/l)	3.29	3.18	2.97	3.10
Conductividad (uS/cm)	1355	1584	1335	1424.70
pH	7.95	7.91	7.74	7.90

La tabla 9 muestra la caracterización físico química del agua residual doméstica de ingreso (afluente), los valores determinados están en concordancia con la literatura revisada (1) y por lo mostrado en la tabla 2.

3.1.2. Caracterización Microbiológica

Tabla 10: Resultado de la caracterización Microbiológica del Agua Residual.

MEDIO DE CULTIVO	Resultado	Observación
Agar Mueller Hinton	Presencia	Se observo un crecimiento abundante en las primeras diluciones,
Agar Mc Conkey	Presencia	Crecimiento de colonias, sin degradación de Lactosa

Agar Sangre + Neomicina	Presencia	Crecimiento de colonias, de aspecto mucoide, se observa Hemolisis
Agar Baird Parker	Ausencia	No se obtuvo desarrollo de ninguna colonia por lo que se descarta la presencia de Staphylococcus
Agar EMB	Presencia	Se observo Crecimiento de colonias incoloras.
Agar S.S.	Ausencia	No se obtuvo desarrollo de ninguna colonia por lo que se descarta la presencia de Sallmonella y Shiguella
Agar TCBS	Ausencia	No se observó ningún crecimiento en el medio TCBS por lo cual se descarta la presencia del género Vibrio.
Agar Sabouraud	Presencia	Se observan colonias circulares, de bordes definidos, lo que indica la presencia de mohos.
Agar Cetrimida	Presencia	Se Observo crecimiento de colonia.

3.2. Diseño, construcción y operación de un sistema de aireación extendida (SAE) con lechos móviles (LM) a nivel laboratorio

A. Determinación de Carga superficial máxima

En la formula (14) reemplazamos el valor de la temperatura mínima (t) del agua del mes más frio, según SENAMHI es de 7° registrado en el Mes de Junio.

$$CS_M = 250 \times 1.085^{t-20}$$

$$CS_M = 250 \times 1.085^{7-20}$$

$$CS_M = 86.5672 \text{ kg DBO/ha} - \text{dia}$$

En la investigación de Yanez Cossio (19) indica que el modelo de Carga Superficial Máxima (CSM) es un modelo ampliamente usado para el dimensionamiento de lagunas . Por otro lado, Vanegas-Benavides & Reyes Rodríguez (21) indican que dicho modelo (CSM) consiste en determinar la carga máxima de materia orgánica por unidad de superficie (Kg DBO/ha*d), que puede soportar una laguna en condiciones predominantemente facultativas.

B. Área requerida del SAE

Conociendo los datos se procedió a calcular el Área de la SAE con la Formula (16)

Datos:

$$L_A = 503.07 \text{ mg/L}$$

$$Q_{med} = 0.012 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$CS_M = 86.5672 \text{ kgDBO}_5 / \text{ha} - \text{dia}$$

$$A_F = \frac{10 \cdot L_A \cdot Q_{med}}{CS_M}$$

$$A_F = \frac{10 \times 503.07 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.012 \text{ m}^3/\text{dia}}{86.5672 \text{ kg DBO/ha} - \text{dia}}$$

$$A_F = 0.6973 \text{ m}^2$$

C. Relación de largo/alto/ ancho según Yanez Cossio:

Usando la fórmula de Área de un Ortoedro se halla por la suma de las áreas de sus caras (19).

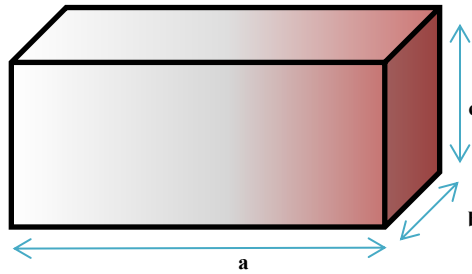


Figura 15: Área de un octaedro, donde (a) es el largo, (b) es la profundidad y (c) es la altura

Formula de ortoedro:

$$A_{SAE} = 2ab + 2ac + 2bc$$

Conocemos el Área de la Piscina que es 0.6973m^2 según la formular (10) y conocemos la relación Largo / Ancho/ Altura es igual a 2 / 1 / 1.5

Entonces

$$A_{SAE} = 2ab + 2ac + 2bc$$

$$0.6973\text{m}^2 = 2(2x. 1x) + 2(2x. 1,5x) + 2(x. 1.5x)$$

$$0.2324 \text{ m} = x$$

Dando como resultado:

Largo:

$$a = 2x = 2(0.2324) = 0.4648 \text{ m} \cong 47 \text{ cm}$$

Ancho:

$$b = x = (0.2324) = 0.2324 \text{ m} \cong 23 \text{ cm}$$

Altura:

$$c = 1.5x = 1.5(0.2324) = 0.3486 \text{ m} \cong 35 \text{ cm}$$

La Cámara de Aireación extendida tendrá las medidas de largo, ancho y altura que se calcularon, permite hallar el volumen:

$$V_r = 37.6 \text{ 6 litros} \cong 38 \text{ litros}$$

D. Determinación de Numero de Difusores

8 unidades.

En la investigación de Cueto (22) tomo como referencia la relación 1:1:0.4 para el cálculo del volumen del reactor biológico, sin embargo, en la presente investigación, la relación seleccionada de Largo / Ancho/ Altura es igual a 2 / 1 / 1.5 se tomó en cuenta la Norma Técnica Peruana OS.090 la cual indica que para las lagunas facultativas se recomienda formas alargadas; se sugiere que la relación largo-ancho mínima sea de 2.

3.2.1. Construcción Sistema de aireación extendida (SAE)

A. Cámara de Aireación

A partir del dimensionamiento se pudo obtener las medidas del SAE, teniendo en cuenta que el volumen máximo de la cámara es 38 litros.

Tabla 11: Medidas Cámara de Aireación, especificando los valores de largo, alto ancho en centímetros (cm).

<i>Dimensión</i>	<i>Valor</i>
<i>Largo</i>	<i>47cm</i>
<i>Alto</i>	<i>35 cm</i>
<i>Ancho</i>	<i>23 cm</i>

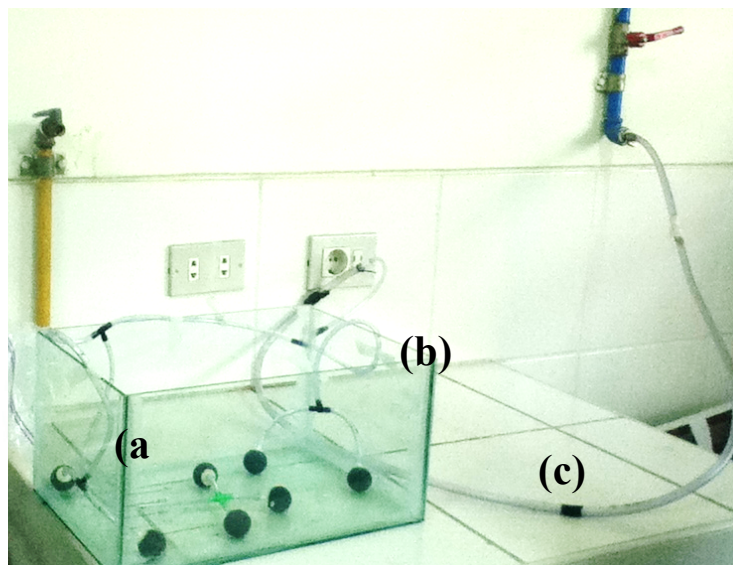


Figura 16 El sistema de Aireación Extendida consta de: (a) Distribución difusores de aire, (b) cámara de vidrio, (c) aire comprimido



Figura 17 Difusores de Aire de piedra volcánica que conectado al aire comprimido expulso un tamaño de burbuja ≤ 1 mm según especificación del fabricante.

3.2.2. Determinación de Área de Contacto del Sistema de Aireación Extendida (SAE)

A. Área del Lecho Móvil -. Kaldnes K1:

Según la ficha técnica de **Kaldnes K1** su área de contacto es de $5000 \text{ cm}^2/\text{L}$

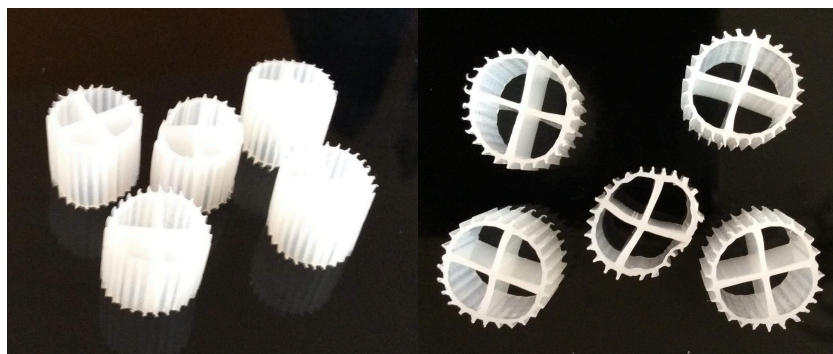


Figura 18 Difusores de Aire de piedra volcánica que conectado al aire comprimido expulso un tamaño de burbuja $\leq$ 1 mm según especificación del fabricante.

Teniendo en cuenta que en las pruebas se utilizaron 3 litros de lechos móviles.

$$A_{LM} = A_{tc} \times \text{Volumen}$$

$$A_{LM} = 5000 \text{ cm}^2/\text{L} \times 3\text{L}$$

$$A_{LM} = 15000 \text{ cm}^2$$

B. Tapas Plásticas:

Con la ayuda de un vernier se tomaron las medidas de 10 tapas plásticas Estándar.

Tabla 12: Promedio de Medidas de Tapas plásticas

	Medida	Unidad
Altura externa	19.8	mm
Diámetro exterior superior	29.5	mm
Altura interna	18.35	mm
Diámetro interno	26.6	mm

Tenemos que en la formula (21)

$$A_{tapa} = (2\pi r \cdot h + \pi r^2)_e + (2\pi r \cdot h + \pi r^2)_i$$

Reemplazando en con la formula (21) con los datos de la tabla 12, tenemos el área de contacto por unidad

$$A_{tapa} = (2\pi(14.75).(19.8) + \pi(14.75)^2)_e + (2\pi(13.3).(18.35) + \pi(13.3)^2)_i$$

$$A_{tapa} = 4607.66 \text{ mm}^2$$

$$A_{tapa} = 46.07 \text{ cm}^2$$

Para hallar el Área de contacto en un litro de lechos móviles, se tuvo en cuenta que un litro de tapas plásticas contiene 85 unidades/ L. Lo que nos da lo siguiente:

$$A_{tc} = A_{tapa} \times 85 \frac{\text{und}}{\text{l}}$$

$$A_{tc} = 46.07 \times 85 \frac{\text{und}}{\text{l}}$$

$$A_{tc} = 3916.51 \frac{\text{cm}^2}{\text{l}}$$

Entonces en 3 litros de lechos móviles el Área de contacto total, se halla con la siguiente formula:

$$A_{LM} = A_{tc} \times \text{Volumen}$$

$$A_{LM} = 3916.51 \frac{\text{cm}^2}{\text{l}} \times 3/\text{L}$$

$$A_{LM} = 11749.5 \text{ L/cm}^2$$

C. Área de contacto del MPAE (A_{MPAE})

Usando la fórmula de Área de un Ortoedro se halla por la suma de las áreas de sus caras.

Formula de ortoedro sin un lado.

$$A_{SAE} = ab \times 2ac \times 2bc$$

Reemplazando con los datos de la Tabla 7:

$$A_{MPAE} = ab + 2ac + 2bc$$

$$A_{MPAE} = (50 \times 35) + 2(50 \times 25) + 2(25 \times 38)$$

$$A_{MPAE} = 6150\text{cm}^2$$

D. Área de Contacto Total.

Se consideró la siguiente ecuación (23) para esta determinación:

$$A = A_{SAE} + A_{LM}$$

Dando como resultado:

Tabla 13 Resumen del Área total de Contacto

<i>Áreas de Contacto</i>	<i>Unidades</i>
<i>Sistema de Aireación Extendida</i>	<i>0.62 m²</i>
<i>3 litros de Lechos M. Kaldnes K1</i>	<i>1.5 m²</i>
<i>3 litros de Lechos M. Tapas Plásticas</i>	<i>1.18 m²</i>
<i>SAE + Lechos M. Kaldnes K1</i>	<i>2.12 m²</i>
<i>SAE + Lechos M. Tapas Plásticas</i>	<i>1.8 m²</i>

Fuente: Elaboración Propia

Con el resultado de la tabla 13 se pudo comprobar que los lechos móviles KaldnesK1 abarca más área superficial que las tapas plásticas y añadiendo el SAE aumentamos casi en un 30 % el área donde podrá crecer la biopelícula.

3.2.3. Toma de Muestra de Aguas residuales Domésticas

Lugares de Recolección: La muestra se recolectó en la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Arequipa. Luego de la etapa del pretratamiento.

Tabla 14 Toma de muestras

<i>Pruebas</i>	<i>Lugar</i>	<i>Estadio y Recolección:</i>	<i>Época de</i>
<i>P1A – P2A – P3A</i>	<i>Chilpina</i>	<i>Enero del 2012</i>	
<i>P1B – P2B – P3B</i>	<i>Chilpina</i>	<i>Agosto 2015</i>	
<i>P1C – P2C – P3C</i>	<i>Escalerilla</i>	<i>Agosto 2015</i>	

Fuente: Elaboración Propia



Figura 19: Desarenador I – Planta de Chilpinilla - Vista Frontal
Fuente: Fotografía propia



Figura 20: Se recolectaron 12 L de agua residual doméstica.

Fuente: Fotografía Propia PTAR Chilpina

3.2.4. Procedimiento la operación de SAE

INOCULACIÓN

Se realizó la inoculación de los lechos en el mismo reactor y se logró la formación de biopelícula en la superficie de los lechos móviles.



Figura 21 : Procedimiento de Inoculación de Lechos móviles

3.2.5. Operación de SAE y LM

a. Pruebas con aireación extendida (P1)

Para las pruebas de aireación extendida se toma la siguiente consideración de la tabla 15. Para lo cual se mantuvo la aireación > 2 ppm antes de empezar las pruebas se tomaron las muestras de agua para los análisis físicoquímicos del afluente y poder evaluar la eficiencia de la depuración.

Tabla 15: Consideración de para la prueba 1 (P1-A/P1-B/P1-C)

Condición	Sistema de Aireación Extendida con 12 litros
Lechos	Sin Lechos
Área de Contacto	0.62 m^2
Aireación	$OD = > 2 \text{ ppm}$

Tiempo de Retención 24 horas

Fuente: Elaboración propia.



Figura 22: Prueba 1 - SAE con 12 litros de cribado, sin lechos móviles y con baja aireación Prueba P1-A

Fuente: Fotografía Propia

Una característica de las pruebas es el fuerte olor procedente de los gases inorgánicos que incluyen al sulfuro de hidrógeno (H_2S) y al amoníaco (NH_3) el cual se pudo sentir hasta las 10 horas de depuración, que al final del proceso se eliminó por la aireación. Además de observar presencia de espuma durante todo el proceso.



Figura 23 Cámara de Aireación sin lechos - Toma de datos fisicoquímicos equipo HANNA (P1-A)



Figura 24 : Prueba P1-B después de 12 horas aireación.

Después de las 24 horas se detuvo el proceso de aireación y se tomaron muestras para los análisis fisicoquímicos. En la tabla 16 se detallan los resultados.

Tabla 16: Resultados controles físico químicos de las PRUEBAS 1 (P1-A /P1-B/P1-C)

	<i>P1 -A</i>		<i>P1 -B</i>		<i>P1 - C</i>	
	<i>25/01/2012</i>		<i>15/08/2015</i>		<i>26/08/2015</i>	
<i>PARAMETROS FISICOQUÍMICO</i>	<i>AFLUE NTE</i>	<i>EFLUE NTE</i>	<i>AFLUE NTE</i>	<i>EFLUE NTE</i>	<i>AFLUE NTE</i>	<i>EFLUE NTE</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)</i>	421	211	502	226	581	352
<i>Demanda Química de Oxígeno (mg/l)</i>	845	506	915	524	862	601
<i>Oxígeno Disuelto (mg/l)</i>	3.29	3.23	3.18	3.21	2.97	3.41
<i>Conductividad (uS/cm)</i>	1355	1064	1584	1147	1335	1253
<i>pH</i>	7.95	8.04	7.91	7.86	7.74	7.8

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Laboratorio

b. Prueba con aireación extendida con lecho móviles Kaldness k1

Para las pruebas de aireación extendida con lechos móviles comerciales KALDNESS se toma la siguiente consideración de la tabla 17. Para lo cual se mantuvo la aireación > 2 ppm antes de empezar las pruebas se tomaron las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos del afluente y poder evaluar la eficiencia de la depuración.

Tabla 17: Consideraciones para la Pruebas 2 (P2-A /P2-B/P2-C)

<i>Condición</i>	<i>Sistema de Aireación Extendida con 12 litros de cribado y ecualizado</i>
<i>Lechos</i>	<i>Con Lechos (3 litros Lechos M. Kaldnes K1)</i>
<i>Área de Contacto</i>	2.12 m^2
<i>Aireación</i>	$OD = > 2 \text{ ppm}$
<i>Tiempo de Retención</i>	24 horas

Fuente: Elaboración propia

Se añadieron los lechos móviles inoculados con un recipiente medidor, se añadió 6 litros en volumen de los mismos.



Figura 25: Cámara de Aireación con Lechos Especializados Kaldnes K1

Se arrancó las pruebas por 24 horas monitoreando el OD, se pudo observar que los lechos móviles estaban en constante movimiento durante todo el proceso, que es lo que se esperaba para la depuración de las ARD, como se puede observar en la figura 26 de la prueba P2B. Con los

lechos móviles el olor se disminuyó a las 6 horas e iniciado el proceso y la generación de espuma no fue muy notoria.



Figura 26: Prueba P2 - B presencia de lechos móviles

Terminando las 24 horas se tomó las muestras de agua depurada para sus análisis fisicoquímicos como muestra en la tabla 18.

Tabla 18 Resultados controles físico químicos de las PRUEBAS 2 (P2-A /P2-B/P2-C) - SAE y LM

	<i>P2 -A</i>		<i>P2 -B</i>		<i>P2 -C</i>	
	26/01/2012		16/08/2015		28/08/2015	
<i>PARAMETROS FISICOQUÍMICO</i>	<i>AFLUENTE</i>	<i>EFLUENTE</i>	<i>AFLUENTE</i>	<i>EFLUENTE</i>	<i>AFLUENTE</i>	<i>EFLUENTE</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)</i>	421	150	502	167	581	172
<i>Demanda Química de Oxígeno (mg/l)</i>	845	289	915	387	862	267
<i>Oxígeno Disuelto (mg/l)</i>	3.14	1.89	3.30	3.05	3.27	3.33
<i>Conductividad (uS/cm)</i>	1298	978	1492	973	1562	1001
<i>pH</i>	7.95	8.12	7.91	7.74	7.74	7.81

Fuente: Fuente: Elaboración Propia con Datos de Laboratorio

c. PRUEBA AIREACION EXTENDIDA Y LECHO MOVILES TAPAS PLÁSTICAS

Para las pruebas de aireación extendida con lechos alternativos TAPAS PLÁSTICAS, se tomó la siguiente consideración de la tabla 19. Para lo cual se mantuvo la aireación > 2 ppm antes de

empezar las pruebas se tomaron las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos del afluente y poder evaluar la eficiencia de la depuración.

Tabla 19: Consideración de para las pruebas 3 (P3-A/P3-B/P3-C)

Condición	<i>Sistema de Aireación Extendida con 12 litros de cribado y ecualizado</i>
Lechos	<i>Con Lechos (3 litros Lechos M. Tapas Plásticas)</i>
Área de Contacto	<i>1.8 m²</i>
Aireación	<i>OD=> 2 ppm</i>
Tiempo de Retención	<i>24 horas</i>

Fuente: Elaboración propia

Se pudo sentir el olor característico de ARD hasta las 8 primeras horas. Asimismo, la formación de biopelícula fue menor que en los lechos KALDNES. A respecto de la generación de espuma también se pudo observar que fue mayor en comparación con lechos KALDNES, esto debido a que las tapas ocupan menos área de contacto y su movimiento es más lento en la cámara de aireación.



Figura 27 Cámara de Aireación con Lechos Tapas plásticas (P3-A)

Terminando las 24 horas se tomó las muestras de agua depurada para sus análisis fisicoquímicos como muestra en la tabla 20.

Tabla 20: Resultados controles fisico químicos de las PRUEBAS 3(P3-A /P3-B/P3-C) - SAE y LM

	<i>P3 -A</i>		<i>P3 - B</i>		<i>P3-C</i>	
	<i>27/01/2012</i>		<i>17/08/2015</i>		<i>27/08/2015</i>	
<i>PARAMETROS FISICOQUÍMICO</i>	<i>AFLUENTE</i>	<i>EFLUENT E</i>	<i>AFLUENT E</i>	<i>EFLUENTE</i>	<i>AFLUENT E</i>	<i>EFLUENT E</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)</i>	502	144	502	182	581	284
<i>Demanda Química de Oxígeno (mg/l)</i>	845	628	915	403	862	504
<i>Oxígeno Disuelto (mg/l)</i>	3.11	3.06	3.18	2.93	3.18	2.93
<i>Conductividad (uS/cm)</i>	1481	989	1489	994	1471	1105
<i>pH</i>	7.95	8.09	7.91	7.98	7.74	7.79

Fuente: Elaboración propia con Datos de Laboratorio.



Figura 28 Agua tratada de la P1-A, P2-A, P3A

En la investigación Salazar & Salirrosas (23) estudiaron la valoración de parámetros de operación de una PTARD con aireación extendida, obteniendo una caracterización inicial de parámetros similar a la de la presente investigación. Su caracterización fue la siguiente: DBO₅

410-430 ppm, DQO; 920-1030 ppm, pH; 6.80-6.95. Así mismo, en la investigación de Bendita Larico (24) se obtuvo una caracterización de 441 ppm de DBO₅; DQO; 994 ppm y pH de 6.95.

Sin embargo, en la caracterización de su efluente tratado obtuvo mejores resultados en comparación a la presente investigación, esto debido a que en la investigación de Salazar & Salirrosas (23) se complementó con un proceso de desinfección.

Respecto al uso de carriers con aireación extendida se obtuvieron mejores resultados, ya que los carriers o tecnología MBBR tienen una propiedad de mantener una alta densidad de población de biomasa, incrementa la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS) y elimina el costo de operación de la línea de retorno de fangos activos (RAS) (25).

Finalmente, el efluente tratado muestra una menor concentración con aireación extendida con carriers (tapas plásticas o carriers) debido a que el crecimiento bacteriano que se da en los lechos móviles se encarga de depurar los contaminantes en forma de biopelícula adherido a soportes de alta superficie específica (relleno filtrante). Estos soportes se encuentran sumergidos y en movimiento en el reactor biológico (26).

3.3. Identificación los microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles

Después de la inoculación de lechos móviles comerciales de KALDNESS K1 y las tapas plásticas se realizó las pruebas para reconocimiento de los microorganismos, tal y como mencionamos en la metodología.

Se trabajó primero en Agar nutritivo, de la muestra se sembró en dilución 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}

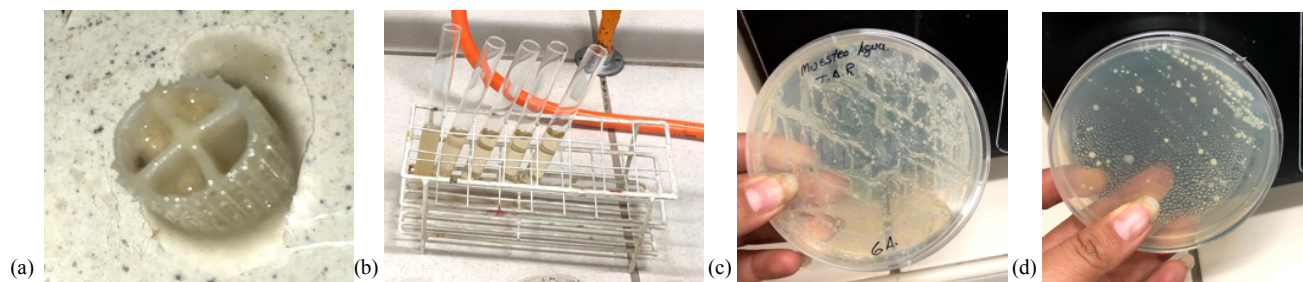


Figura 29 : (a) Lecho móvil Kaldness con formación FLOC (b) Tubos de Dilución provenientes del FLOC de los lechos móviles Kaldness (c) Placa con Agar Nutritivo, con siembre de Dilución 10^{-1} se observa gran cantidad de crecimiento microbiano (d) Placa con Agar Nutritivo, con siembre de Dilución 10^{-4} se observa separación de colonias de microorganismos.

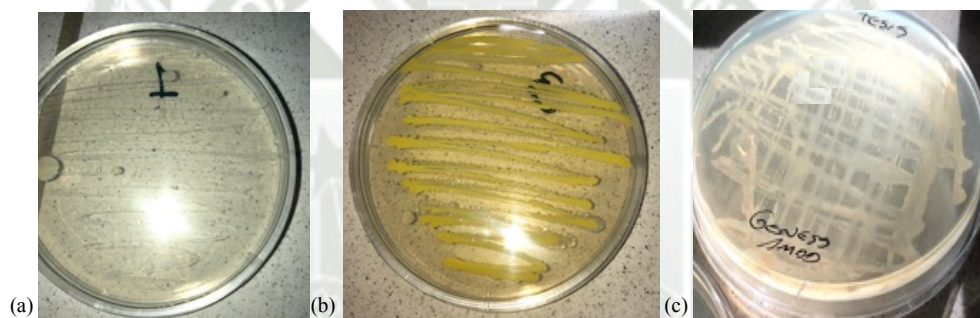


Figura 30 : (a) Agar Nutritivo cepa 1 (b) Agar Nutritivo cepa 2 (c) Agar Nutritivo cepa 3.

Tabla 21 Tinción Gram, Prueba de Catalasa y Prueba de Oxidasa alas Cepas 1,2,3

<i>Cepa</i>	<i>Observación</i>	<i>Morfología</i>	<i>Tinción Gram</i>	<i>Catalasa</i>	<i>Oxidasa</i>
1	Colonias pequeñas Consistencia Mucoide	Bacilo	Gram Positiva	Positivo (+)	Positivo (+)
2		Coco	Gram Positiva	Positivo (+)	Positivo (+)
3	Colonias Grandes y brillantes consistencia mucoide	Bacilo	Gram Negativa	Positivo (+)	Negativo

✓ *Lecho móvil: kaldnes k1*

Tabla 22: Identificación de Microorganismos en LM tipo Kalness K1

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
	<i>Bacillus Subtilis</i>	<i>Micococcus Luteus</i>	<i>Pseunomoda Aeruginosa</i>
<i>CATALASA</i>	Positivo (+)	Positivo (+)	Positivo (+)
<i>OXIDASA</i>	Negativo (-)	Positivo (+)	Positivo (+)
<i>Agar Mc Conkey</i>	Crecimiento de Colonia Lactosa (-)	Sin crecimiento Lactosa (-)	Crecimiento de Colonia Lactosa (-)
<i>Agar Sangre</i>	Colonias Grandes Aspecto Mucoide Hemolisis Negativo	Colonias pequeñas Aspecto mate. Hemólisis Negativo	Colonias Grandes Aspecto Mucoide Beta hemolítica
<i>Agar SS</i>	Negativo (-)	Negativo (-)	Negativo (-)
<i>Agar TCBS</i>	Negativo (-)	Negativo (-)	Negativo (-)
<i>Agar EMB</i>	Negativo (-)	Negativo (-)	Crecimiento de Colonia incolora Lactosa (-)
<i>Agar Cetrimida</i>	Crecimiento Colonia incoloras	Crecimiento de Colonia Amarilla	Crecimiento de Colonia Verde Azuladas
<i>LIA</i>	A/A Lisina (-)	A/A Lisina (-)	A/A Lisina (-)
<i>KIA</i>	Acido/ Alcalino A/K Glucosa (+) Lactosa (-) Amarillo en el fondo y rosa en el pico de flauta	Alcalino/Alcalino K/K Fermentador de Glucosa (-) Lactosa (-) Todo el cultivo rojo o rosa.	Alcalino/Alcalino K/K Fermentador de Glucosa (-) Lactosa (-) Todo el cultivo rojo o rosa.
<i>SIM</i>	Movilidad (+) H ₂ S (-) Indol (-)	Movilidad (-) H ₂ S (-) Indol (-)	Movilidad (+) H ₂ S (-) Indol (-)

	<i>Acido /Acido A/A</i>	<i>Alcalino/Alcalino K/K</i>	<i>Alcalino/Alcalino K/K</i>
<i>TSI</i>	<i>Glucosa (+) Sacarosa (+) Lactosa (-)</i>	<i>Glucosa (-) Sacarosa (-) Lactosa (-)</i>	<i>Glucosa (-) Sacarosa (-) Lactosa (-)</i>
<i>UREA</i>	<i>Negativo (-)</i>	<i>Positivo (+)</i>	<i>Positivo (+)</i>
<i>Citrato Simons</i>	<i>Positivo (+)</i>	<i>Positivo (+)</i>	<i>Positivo (+)</i>
<i>Nitrato</i>	<i>Positivo (+)</i>	<i>Negativo (-)</i>	<i>Positivo (+) o Negativo</i>
<i>O/F</i>	<i>OA Obligatoriamente aerobio</i>	<i>OA Obligatoriamente aerobio</i>	<i>Oxidativo OA Obligatoriamente aerobio</i>
<i>MRVP</i>	<i>MR Negativo VP Positivo</i>	<i>MR Negativo o Positivo VP Positivo</i>	<i>MR Negativo VP Negativo</i>

Las aguas residuales domésticas tienen una composición variada de microorganismos, los cuales cumplen una función en la depuración de aguas residuales mediante la degradación de materia orgánica.

En la investigación de Moeller & Tomasini (27) indican que los microorganismos presentes en procesos de oxidación aeróbica cumplen principalmente 2 funciones, la primera en la oxidación biodegradable de la materia orgánica soluble para la producción de nuevas células y la producción de flóculos o separación de biomasa del efluente. Así mismo entre los principales organismos que se encuentran en el agua residual tenemos bacterias, hongos, protozoarios. Los principales géneros encontrados en el tratamiento de aguas residuales son: Zooglea, Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Bacillus, Achromobacter, Corynebacterium, Comomonas, Brevibacterium, Acinetobacter, Organismos Filamentosos (Sphaerotilus, Beggiatoa), Bacterias autotróficas nitrificantes (Nitrosomonas y Nitrobacter) y Bacterias sulfurosas fototróficas (Rhodospirillaceae).(27)

En la presente investigación se encontraron según las pruebas bioquímicas, varios de los géneros nombrados por Moeller & Tomasini (27), tales como *Bacillus Subtilis*, *Micococcus Luteus*, *Pseunomoda Aeruginosa* lo cual indicaría un proceso normal de crecimiento bacteria en el agua residual doméstica.

3.4. Análisis del aumento en la eficiencia de la depuración de aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE Y LM.

La manera adecuada de determinar la eficiencia de depuración es comparar la eficiencia de remoción de la DBO y de la DQO pues estas variables muestran la eficiencia de la depuración de la materia orgánica se mide en función a estas demandas DBO y DQO. Se aplicó la formula (25)

A continuación, se muestran las eficiencias de Remoción de DBO en las pruebas sin lechos:

Tabla 23 Porcentaje de remoción de las pruebas P1, P2 y P3

<i>PARAMETROS FISICOQUÍMICOS</i>	<i>PRUEBAS</i>		
<i>PROMEDIO</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	48 %	67 %	62 %
<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	38 %	64 %	41 %

3.4.1. Incremento de la eficiencia de remoción de DBO

En la siguiente ilustración se hace una comparación de la eficiencia de remoción de DBO entre las pruebas sin lechos y con lechos móviles:

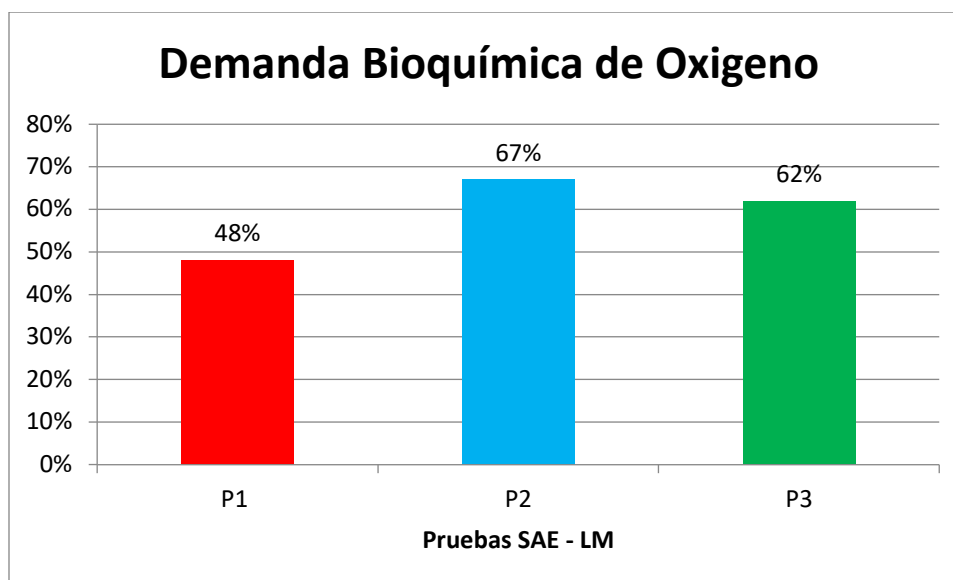


Figura 31 : Eficiencia de Remoción de DBO durante las pruebas

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

P1: Pruebas sin lechos móviles

P2: Pruebas con lechos móviles – Kaldness

P3: Pruebas con lechos móviles – Tapas Plásticas

La mayor eficiencia resulto en las pruebas P2 que corresponde a los lechos móviles comerciales Kaldness.

3.4.2. Incremento de la eficiencia de remoción de DQO

En la siguiente ilustración se hace una comparación de la eficiencia de remoción de DQO entre las pruebas sin lechos y con lechos móviles:

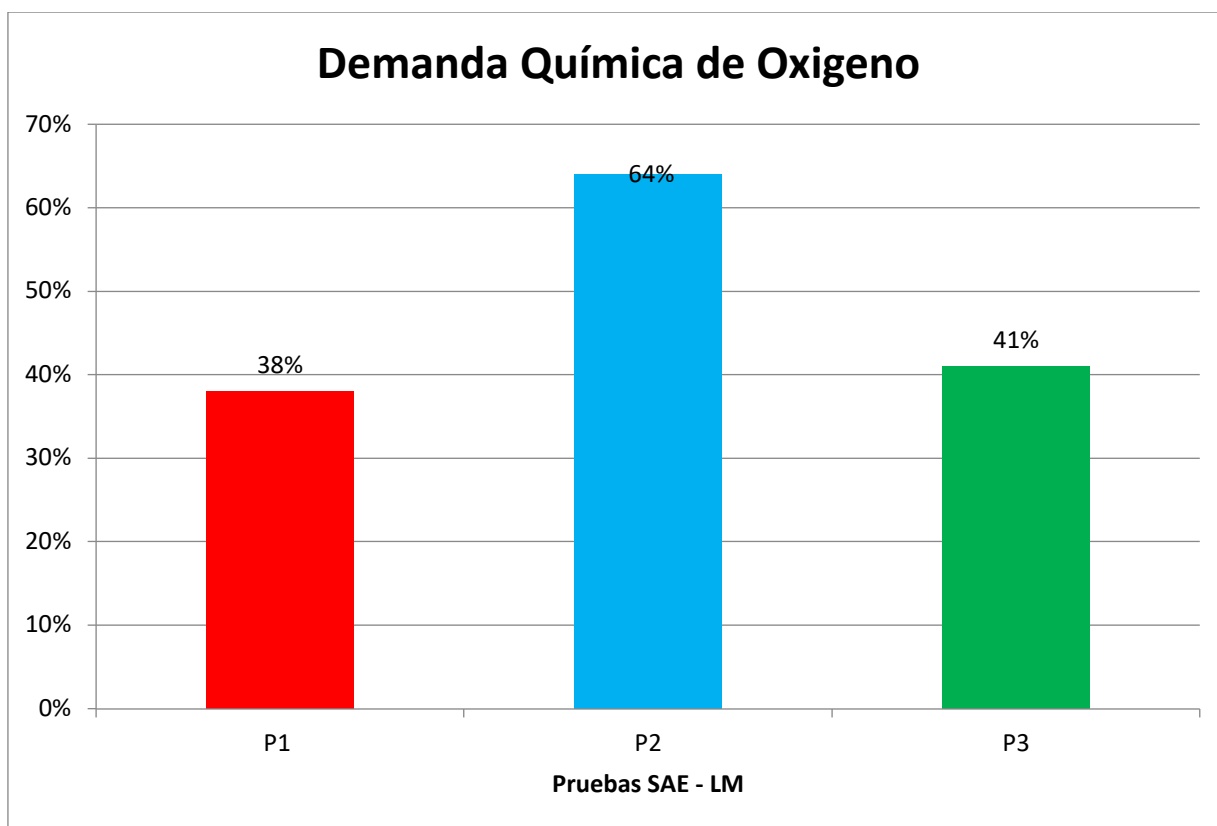


Figura 32 Eficiencia de Remoción de DQO durante las pruebas

Dónde:

P1: Pruebas sin lechos móviles

P2: Pruebas con lechos móviles – Kaldness

P3: Pruebas con lechos móviles – Tapas Plásticas

El incremento en la eficiencia es de hasta el 39% como se puede verificar en la prueba C.

3.5. Efecto de los sistemas de depuración de aguas residuales sobre la remoción de contaminantes

De acuerdo a la data procesada (Anexo 9), para evaluar el efecto de depuración de contaminantes (DBO₅ y DQO) en los diferentes procesos planteados en la presente investigación (SA, SA+LM

& SA+LMT) se usó el análisis de varianza para ver si hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 24 ANOVA para % Remoción de DQO por SISTEMAS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1246.24	2	623.12	6.10	0.0358
Intra grupos	612.929	6	102.155		
Total (Corr.)	1859.17	8			

En la tabla 24, se observa el ANOVA de los sistemas de tratamiento donde el p-valor entre grupos es 0.0358 el cual es menor al $p < 0.05$, por lo que existe diferencia significativa por lo menos entre un par de los tratamientos propuestos en el efecto de remoción de la DQO.

En la figura 33, se muestra la gráfica de medias donde se observa que hay una diferencia significativa entre el sistema de aireación (SAE) con SAE+LM. Por lo que se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que existe un efecto de remoción de contaminante (DQO) por parte de los sistemas SAE+LM en comparación con la aplicación del sistema SAE.

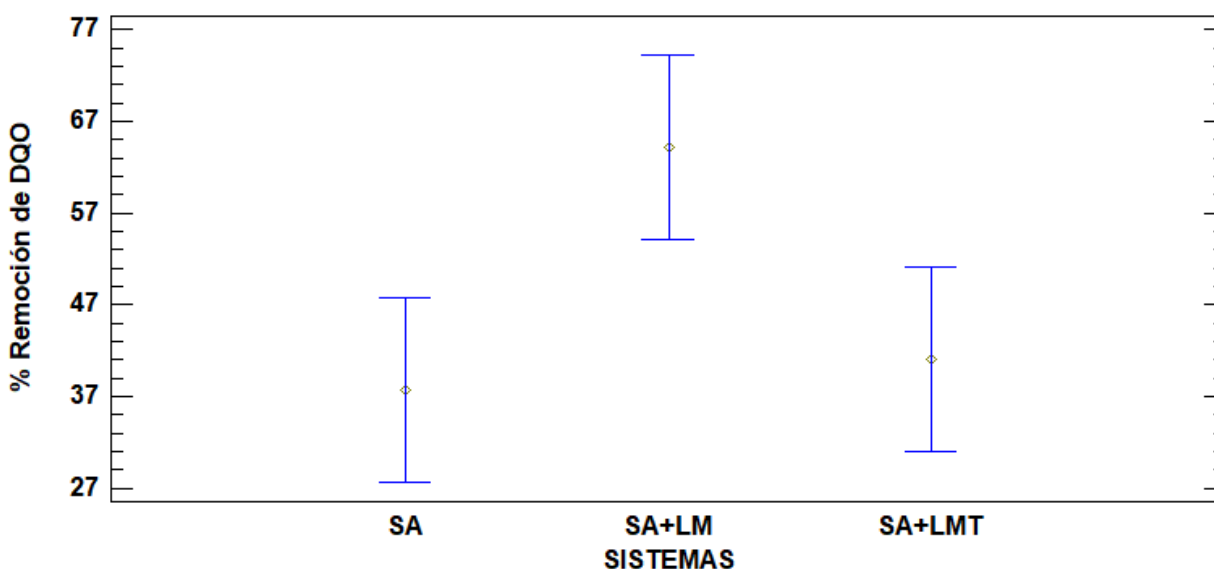


Figura 33 Gráfica de medias DQO

Por otro lado, en la tabla 25, se observa el ANOVA de los sistemas de tratamiento donde el p-valor entre grupos es 0.0532, el cual es mayor al $p < 0.05$, por lo que no existe diferencia significativa por lo menos entre los tratamientos propuestos en el efecto de remoción de la DBO.

Tabla 25 Tabla ANOVA para % Remoción de DBO por SISTEMAS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	585.006	2	292.503	4.98	0.0532
Intra grupos	352.575	6	58.7625		
Total (Corr.)	937.581	8			

En la figura 34, se muestra la gráfica de medias donde se observa que hay una diferencia significativa entre el sistema de aireación (SAE) con SAE+LM. Si solo comparamos el Sistema SAE y el Sistema SAE+LM se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que existe un efecto de remoción de contaminante (DBO) por parte de los sistemas SAE+LM en comparación con la aplicación del sistema SAE.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

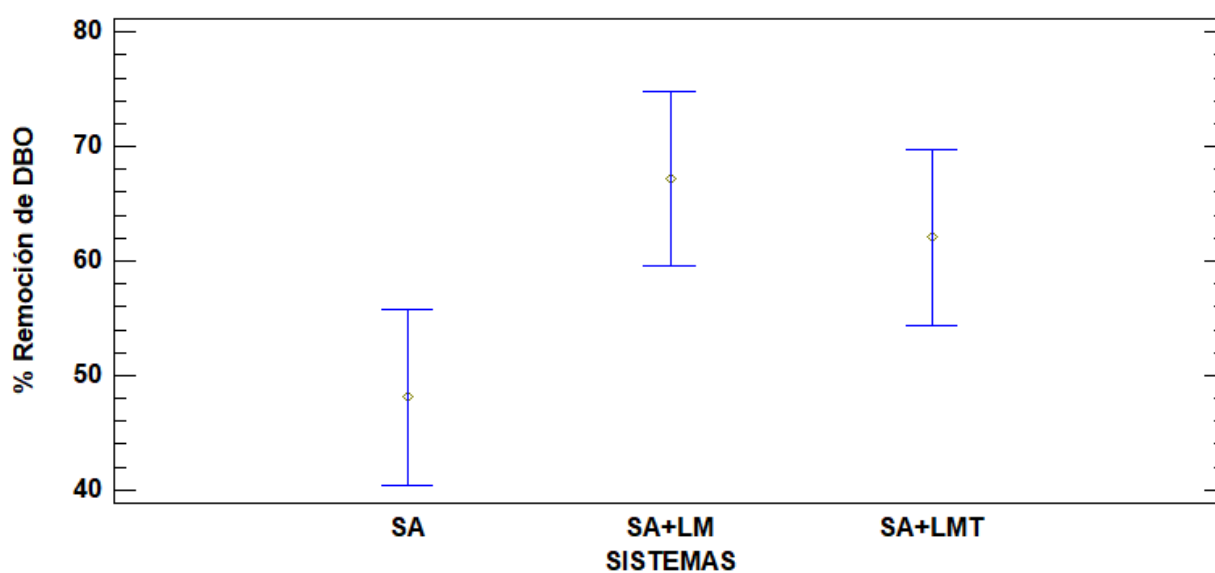


Figura 34 Gráfica de medias DBO

Finalmente, en la prueba de múltiples rangos para la prueba de DBO se puede observar que existe diferencia significativa entre los grupos SAE y SAE+LM, siendo estos grupos heterogéneos

Tabla 26 Pruebas de Múltiple Rangos para % Remoción de DBO por SISTEMAS

SISTEMAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SA	3	48.092	X
SA+LMT	3	62.0595	XX
SA+LM	3	67.1665	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
SA - SA+LM	*	-19.0745	15.3152
SA - SA+LMT		-13.9675	15.3152
SA+LM - SA+LMT		5.10699	15.3152

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se caracterizó el agua residual doméstica obteniendo valores promedio de DBO de 501.30 mg/L; DQO, 874 mg/L; O.D, 3.10 mg/L y pH, 7.90. Siendo valores típicos de aguas residuales domésticas, encontrados en la literatura.

SEGUNDA: Se logró diseñar, construir y operar un Módulo Piloto de Aireación Extendida (SAE) utilizando lechos móviles de polietileno de alta densidad KALDNESS K1 para depuración de aguas residuales de Arequipa alimentados a la planta de Chilpina.

TERCERA: Se identificó que los microorganismos que intervienen en la depuración de las aguas residuales domésticas (según los medios de cultivo evaluados y considerando las

características del efluente) son las cepas microbiológicas: como *Bacillus Subtilis*, *Micococcus Luteus*, *Pseunomoda Aeruginosa*.

CUARTA: Se evaluó los diferentes tratamientos de aguas residuales doméstico SA, SA+LMT y SA+LM, donde se determinó una reducción de DQO de 38%, 64% y 41%, respectivamente y de DBO de 48%, 67%, 62%, respectivamente. Al comparar se observa que hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el tratamiento SA y LMT, indicando que existe un efecto positivo al usar los carrier frente al proceso convencional.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la degradación de otros contaminantes como el nitrógeno y fósforo los cuales son nutrientes que los microorganismos consumen para su crecimiento.
- Se recomienda la implementación de pruebas de bioindicación en la PTARD, ya que la presencia o ausencia de microorganismos podrían indicar el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Se recomienda a las EPS implementar sistemas de lechos móviles ya que permite mejorar la eficiencia de remoción contaminantes, así como la disminución de generación de lodos por ser optimizado por la superficie del Carrier.

REFERENCIA

1. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. McGraw-Hill Ltd. 1995;1995.
2. SUNASS. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Depósito Leg en la Bibl Nac del Perú N° 2015-16066 [Internet]. 2015;I:150. Available from: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
3. OEFA. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Org Eval y Fisc Ambient [Internet]. 2014;36. Available from: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
4. Mayorga Rayo NM. Determinación de la calidad bacteriológica en los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina - Arequipa y cultivos Hortícolas. 2014;2014.
5. Ronzano & Dapena. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Ediciones Díaz Santos. 2002;2:7–12.
6. FONAM. Oportunidades De Mejoras Ambientales Por El Tratamiento De Aguas Residuales En El Perú. Fondo Nac del Ambient [Internet]. 2010;1–37. Available from: www.fonamperu.org/.../agua/.../Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf
7. Daviran Paucar MJ, Huamani Centeno CDR. Optimización hidráulica de la planta de tratamiento de aguas residuales aprovechando la pendiente pronunciada del terreno en Vitor – Arequipa. 2021;
8. Vázquez F. Lagunas De Estabilizacion. 2016;148–63. Available from: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/04828/04828-03.pdf>
9. Guzmán E, Renderos V, Guerrero L. Aspectos importantes sobre el manejo sanitario de

- aguas residuales. Minist Salud Pública y Asist Soc El Salvador. 2005;95.
10. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma OS.090. D el Peru. 2006;84–104.
 11. Romero López T de J, Vargas Mato D. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ing Hidráulica y Ambient. 2017;38(3):88–100.
 12. Carranza NRC. Mecanismo de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas mediante enmiendas orgánicas (Compost y Biochar) y Microorganismos Benéficos (MOBs). 2020;1–94.
 13. Herrera Romero M. Evaluación de los hongos contaminantes en obras de arte: Lienzos e imágenes talladas en madera. 2018;1–222. Available from: <https://helvia.uco.es/handle/10396/16961>
 14. Vásquez M. SM, Suárez M. H, Zapata B S. UTILIZACIÓN DE SUSTANCIAS ANTIMICROBIANAS PRODUCIDAS POR BACTERIAS ACIDO LÁCTICAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA CARNE. Rev Chil Nutr. 2009;
 15. Heredia-Castro PY, Hernández-Mendoza A, González-Córdova AF, Vallejo-Cordoba B. Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: Mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. Interciencia. 2017;42(6):340–6.
 16. Izquierdo cardona JE, Montealegre POJ, Muñoz TE. Evaluación y formulación de microorganismo eficaces para el tratamiento de aguas residuales generadas en una industria porcícola de municipio pereira, risaralda. Univresidad Libr Secc Pereira Belmonte [Internet]. 2017;7(1):1–10. Available from: [https://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Agricultural Biotechnology Annual_Ottawa_Canada_11-20-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Agricultural%20Biotechnology%20Annual_Ottawa_Canada_11-20-2018.pdf)
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101869>
<https://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101869>

- 16/j.jenvman.2017.06.039%0Ahttp://www.oecd.org/gov/regulatory-poli
17. Thieman, W y Palladino M. Introducción a la Biotecnología. Pearson Educacion. 2010. 406 p.
 18. Milián G, Bocourt MPR. Empleo de probióticos basado en *Bacillus* sp y de sus endosporas en la producción avícola. *Rev Cuba Cienc Agrícola*. 2008;42(2):117–22.
 19. Yanez Cossio F. Reduccion de organismos patogenos y diseno de lagunas de estabilizacion en paises en desarrollo. *IRC*. 1988;1:235–60.
 20. Nava L, Gasperín R, Durán A. Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refinerías de petróleo. *Rev Int Contam Ambient*. 2014;30(1):101–12.
 21. Vanegas-Benavides CM, Reyes Rodríguez RV. Carga Superficial Máxima En Lagunas De Estabilización Facultativas De Nicaragua. *Nexo Rev Científica*. 2017;30(01):01–18.
 22. Cueto D. Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en zona franca Mamonal. 2011;101. Available from: <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/131>
 23. Salazar RS aredo. Universidad Nacional De Trujillo Facultad De Ingeniería Química Escuela Académica Profesional De Ingeniería Química. 2018;52. Available from: http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10534/RojasSalazar_R - SalirrosasAredo_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 24. Bendita Larico RS. Evaluación de los parámetros de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas por lodos activados con aireación extendida. *Univerdidad Nac del Callao*. 2012;130.
 25. Reyes Araujo W. Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante

- la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma - AQUAFIL. 2020;
26. Orrala Soriano RM. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología de bioreactores de lecho móvil (proceso MBBR), para minimizar el impacto ambiental en la ciudadela la Milina, del Cantón Salinas, provincia de Santa Elena, 2017. Univ Estatal Península St Elena. 2017;13(3):1576–80.
27. Moeller G, Tomasini AC. Microbiología de lodos activados. J Chem Inf Model [Internet]. 2013;148–208. Available from:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>



ANEXOS

- ANEXO 1-MATRIZ DE CONSISTENCIA

Implementación de un sistema de aireación extendida (SAE) y lechos móviles (lm) como tecnología emergente para la Biodepuración de aguas residuales domésticas (ARD) aplicada en lagunas facultativa.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
Problema Principal • ¿Como implementar de un sistema de aireación extendida (SAE) y lechos móviles (LM) como tecnología emergente para la Biodepuración de aguas residuales domésticas (ARD) aplicada en lagunas facultativa Problema Especifico ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente? ¿Cómo construir un Sistema de Aireación Extendida (SAE) con Lechos Móviles (LM) escala laboratorio? ¿Cómo evaluar del tratamiento de Aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE y LM. ¿Cuáles son los microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles (biomasa)?	Objetivo general Implementar un sistema de aireación extendida y lechos móviles aumentando la eficiencia de la depuración de Aguas Residuales Domésticas en las lagunas facultativas debido al crecimiento de microorganismos (biomasa) a través de una película adherida a los lechos móviles. Objetivo específico Caracterizar fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales domésticas del afluente. Construir un Sistema de Aireación Extendida (SAE) con Lechos Móviles (LM) escala laboratorio. Evaluar del tratamiento de Aguas residuales domésticas en lagunas facultativas en función a la implementación de SAE y LM. Identificar de microorganismos que actúan en la depuración de aguas residuales domésticas en los lechos móviles (biomasa)	Hipótesis Dado la baja eficiencia de las lagunas facultativas en la depuración de aguas residuales en el Perú, es que a través de la implementación de procesos innovadores como un sistema aireación extendida (SAE) y procesos microbiológicos como lechos móviles (LM), se mejorará la depuración de aguas residuales domésticas, aumentando la eficiencia de depuración, siendo un tema de investigación relevante es por eso que se plantea esta alternativa de solución.	Variable Independiente Sistema de aireación extendida (SAE) y lechos móviles (LM) Variable Dependiente Biodepuración de aguas residuales domésticas (ARD)	Carga superficial máxima Área requerida SAE Relación L: A:H Área de contacto Número de difusores TRH Oxígeno Disuelto DQO DBO Oxígeno Disuelto Conductividad pH Microorganismos identificados % Remoción de DBO % Remoción de DQO	Tipo de Investigación Se realizará una investigación aplicada Nivel de investigación Explicativa Diseño de la Investigación El diseño de investigación es experimental del tipo cuasi experimental Método de investigación El método de la presente investigación es hipotético-deductivo, debido a que parte de una aseveración en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear dichas hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (Bernal, 2006). Instrumentos de investigación Registros Reportes de laboratorio

ANEXO 2: ENSAYO DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO: 1377/2012

Genesis Amado Quispe

— Consuelo 315 - - Arequipa

Tratamiento De Aguas Residuales

Emitido por **Eddie Mendoza**

Impreso el 17/07/2018



LIC. EDDIE MENDOZA

C.Q.P. Nº 0776

GERENCIA TÉCNICA

CORPLAB PERU SAC

"Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI-SNA"

Muestra: 14890/2012-1.0

Procedimiento de Muestreo:	Realizado por el cliente
Estación de Muestreo:	MUESTRA 1
Ubicación Geográfica:	N E
Descripción Procedencia de la Muestra:	
Condición de la Muestra Ensayada:	Muestra en buen estado de conservación
Tipo de Muestra:	Afluente Doméstico
Fecha y Hora de Muestreo:	27/01/2012 03:40:00
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/2012 18:40

DBO5*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	01/02/2012	2	10	421

Demanda Química de Oxígeno*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	31/01/2012	2	4	845

Observaciones
* "Los métodos indicados no han sido acreditados por INDECOPI-SNA"
ND = No Detectado
La fecha de análisis de los parámetros perecibles indicados en el Informe de Ensayo corresponde a la fecha de ingreso de resultados al sistema.



Muestra: 14891/2012-1.0

Procedimiento de Muestreo:	Realizado por el cliente
Estación de Muestreo:	MUESTRA 2
Ubicación Geográfica:	N E
Descripción Procedencia de la Muestra:	
Condición de la Muestra Ensayada:	Muestra en buen estado de conservación
Tipo de Muestra:	Efluente Doméstico después de tratamiento
Fecha y Hora de Muestreo:	27/01/2012 03:40:00
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/2012 18:40

DBO5*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	01/02/2012	2	10	211

Demanda Química de Oxígeno*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	31/01/2012	2	4	506

Observaciones
* *Los métodos indicados no han sido acreditados por INDECOPI-SNA*
ND = No Detectado
La fecha de análisis de los parámetros perecibles indicados en el Informe de Ensayo corresponde a la fecha de ingreso de resultados al sistema.

Muestra: 14892/2012-1.0

Procedimiento de Muestreo:	Realizado por el cliente
Estación de Muestreo:	MUESTRA 3
Ubicación Geográfica:	N E
Descripción Procedencia de la Muestra:	
Condición de la Muestra Ensayada:	Muestra en buen estado de conservación
Tipo de Muestra:	Efluente Doméstico
Fecha y Hora de Muestreo:	27/01/2012 03:40:00
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/2012 18:40

DBO5*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	01/02/2012	2	10	150

Demanda Química de Oxígeno*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	31/01/2012	2	4	289

Observaciones
* "Los métodos indicados no han sido acreditados por INDECOPI-SNA"
ND = No Detectado
La fecha de análisis de los parámetros perecibles indicados en el Informe de Ensayo corresponde a la fecha de ingreso de resultados al sistema.

Muestra: 14893/2012-1.0

Procedimiento de Muestreo:	Realizado por el cliente
Estación de Muestreo:	MUESTRA 3
Ubicación Geográfica:	N E
Descripción Procedencia de la Muestra:	
Condición de la Muestra Ensayada:	Muestra en buen estado de conservación
Tipo de Muestra:	Efluente Doméstico
Fecha y Hora de Muestreo:	27/01/2012 03:40:00
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/2012 18:40

DBO5*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	01/02/2012	2	10	144

Demanda Química de Oxígeno*					
Parámetro	Unidad	Fecha de Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	31/01/2012	2	4	628

Observaciones
* "Los métodos indicados no han sido acreditados por INDECOPI-SNA"
ND = No Detectado
La fecha de análisis de los parámetros perecibles indicados en el Informe de Ensayo corresponde a la fecha de ingreso de resultados al sistema.

Metodologías Aplicadas

Parámetro	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Método de Referencia	Descripción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	10	SM 5210 B, 21st Edition, 2005	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 Days BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	2	4	SM 5220 D, 21st Edition, 2005	Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method

Observaciones

Las metodologías de muestreo y análisis utilizadas por Corplab corresponden a las últimas versiones editadas-Standard Methods for The examination of water & wastewater 21st Edition 2005.

Informe de Controles de Calidad: 3783/2012

Blanco de Demanda Química de Oxígeno (Agua)			
Código de Laboratorio	448947		
Parámetros	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	ND	mg O ₂ /L	31/01/2012

Estándar de Demanda Química de Oxígeno (Agua) 1					
Código de Laboratorio	448948				
Parámetros	Estándar de control	% R	Unidad	L.A. Exactitud (% R)	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	20	106,5	%	85 - 115	31/01/2012

Estándar de Demanda Química de Oxígeno (Agua) 2					
Código de Laboratorio	448949				
Parámetros	Estándar de control	% R	Unidad	L.A. Exactitud (% R)	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	250	100,8	%	85 - 115	31/01/2012

Informe de Controles de Calidad: 3962/2012

Blanco de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Agua)			
Código de Laboratorio	450319		
Parámetros	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	mg/L	01/02/2012

Estándar de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Agua)					
Código de Laboratorio	450320				
Parámetros	Estándar de control	% R	Unidad	L.A. Exactitud (% R)	Fecha de Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	19,8	98,2	%	85 - 115	01/02/2012

Estándar de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Agua)					
Código de Laboratorio	450321				
Parámetros	Estándar de control	% R	Unidad	L.A. Exactitud (% R)	Fecha de Análisis

ANEXO 3 PANEL FOTOGRÁFICO DE SAE



ANEXO 4 FORMACIÓN DE FLOC EN LM



ANEXO 5 SIEMBRA DE AGUA RESIDUAL EN MEDIOS DE CULTIVO



ANEXO 6 NTP OS.090.

84	 NORMAS LEGALES El Peruano Lima 20 de mayo de 2008
	NORMA OS.080 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 1. OBJETO El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo. 2. ALCANCE 2.1. La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización. 3. DEFINICIONES 3.1. Adsorción Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido. 3.2. Absorción Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión. 3.3. Acidez La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidróxido hasta un pH de neutralización. 3.4. Acuífero Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

ANEXO 7: PRESUPUESTO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN

Presupuesto Construcción de Laguna Facultativa

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	P.U.	P.T.
01	INSTALACIONES PROVISIONALES DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA				
01.01	SERVICIOS HIGIENICOS	mes	2.00	S/80.90	S/161.80
01.02	AGUA - CONSTRUCCION	mes	2.00	S/1,500.00	S/3,000.00
01.03	ENERGIA ELECTRICA - CONSTRUCCION	mes	2.00	S/2,500.00	S/5,000.00
02	MOVILIZACIÓN Y DESCARTE DE BIO FILTROS				
02.01	OBRAS PRELIMINARES				
02.01.01	ALMACEN, COMEDOR, OFICINAS Y GUARDIANIA	m2	35.00	S/85.50	S/2,992.50
02.01.02	CARTEL IDENTIF DE OBRA 3.60 X 2.40 M	und	1.00	S/550.00	S/550.00
02.01.03	CERCO PROVISIONAL DE ESTERAS	m	33.00	S/80.00	S/2,640.00
02.02	MOVIMIENTO DE MEDIO FILTRANTE				
02.02.01	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE				
02.02.01.01	EXCAVACION Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	11,880.00	S/18.53	S/220,136.40
02.02.01.02	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE	m3	11,880.00	S/9.35	S/111,078.00
03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA				
03.01	TRAZO Y REPLANTEO DE UBICACIÓN E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA	m2	5,940.00	S/0.75	S/4,455.00
03.02	SUMINISTRO DE GEOMEMBRANA	m2	5,940.00	S/75.00	S/445,500.00
03.03	INSTALACION DE GEOMEMBRANA	m3	5,940.00	S/15.00	S/89,100.00
03.04	ACABADOS Y OBRAS DE ARTE	m2	580.00	S/108.00	S/62,640.00
03.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D=15KM	m2	79.45	S/95.20	S/7,563.80
04	SERVICIO DE COMISIONAMIENTO				
04.01	COMISIONAMIENTO LAGUNA FACULTATIVA	glb.	1.00	S/43,318.86	S/43,318.86
04.02	PUESTA EN MARCHA (SERVICIOS DE CARACTERIZACION DE EFLUENTES)	glb.	1.00	S/30,323.20	S/30,323.20
	COSTOS DIRECTOS	CD			S/1,028,459.56
	COSTOS INDIRECTOS (SEGUROS Y CONTINGENCIAS)	CI	3.00%		S/30,853.79
	GASTOS GENERALES	GG	2.50%		S/25,711.49
	UTILIDAD	U	7.00%		S/71,992.17
	SUBTOTAL				S/1,157,017.01
	IGV				S/208,263.06
	TOTAL				S/1,365,280.07

Proyección de costos de operación de planta luego de implementación de lechos móviles

Presupuesto de implementación

Item	Descripción	Und.	Metrado	P.U.	P.T.
01	INSTALACIONES PROVISIONALES DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA				
01.01	SERVICIOS HIGIENICOS	mes	2.00	S/80.90	S/161.80
01.02	AGUA - CONSTRUCCION	mes	2.00	S/1,500.00	S/3,000.00
01.03	ENERGIA ELECTRICA - CONSTRUCCION	mes	2.00	S/2,500.00	S/5,000.00
02	MOVILIZACIÓN Y DESCARTE DE BIO FILTROS				
02.01	OBRAS PRELIMINARES				
02.01.01	ALMACEN, COMEDOR, OFICINAS Y GUARDIANIA	m2	35.00	S/85.50	S/2,992.50
02.01.02	CARTEL IDENTIF DE OBRA 3.60 X 2.40 M	und	1.00	S/550.00	S/550.00
02.01.03	CERCO PROVISIONAL DE ESTERAS	m	33.00	S/80.00	S/2,640.00
02.02	MOVIMIENTO DE MEDIO FILTRANTE				
02.02.01	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE				
02.02.01.01	EXCAVACION Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	5,603.96	S/18.53	S/103,841.38
02.02.01.02	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE	m3	5,603.96	S/9.35	S/52,397.03
03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MALLA DE ACERO				
03.01	TRAZO Y REPLANTEO DE UBICACIÓN E INSTALACIÓN DE MALLA DE ACERO	m2	28.84	S/155.00	S/4,470.20
03.02	SUMINISTRO DE MALLA DE ACERO INOXIDABLE + ACCESORIOS DE MONTAJE DE MALLA	m2	79.45	S/285.00	S/22,643.74
03.03	INSTALACION DE MALLA DE ACERO EN SALIDAS DE LA PLANTA	m3	79.45	S/350.00	S/27,808.11
03.04	ACABADOS Y OBRAS DE ARTE MONTAJE DE MALLAS DE ACERO	m2	79.45	S/108.00	S/8,580.79
03.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D=15KM	m2	79.45	S/95.20	S/7,563.80
04	AIREACIÓN - REACTOR BIOLOGICO				
04.01	CAMARAS PARA VALVULAS				
04.01.01	SUMINISTRO SOPLADORES DE AIREACIÓN TIPO: TORNILLO TEMPERATURA DEL AMBIENTE: 20°C ALTURA: 400 MSNM CAUDAL DE AERACIÓN: 4108 NM3/H @ 71KPAG MOTOR: 110 KW/1800RPM - 440V -60 HZ	unid.	2.00	S/46,480.00	S/92,960.00
04.01.02	SUMINISTRO DE DIFUSORES DE BURBUJA FINA DIFUSORES DE BURBUJA FINA DE 12"	unid.	1,403.00	S/65.00	S/91,195.00
04.01.03	SUMINISTRO DE PARRILLAS DE DIFUSORES DE BURBUJA FINA DIFUSORES DE BURBUJA FINA DE 12"	unid.	1.00	S/18,900.00	S/18,900.00
04.02	TUBERIA DE AIREACIÓN				
04.02.01	TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO, SCHEDULE 40, DN 20 PULG	m	19.80	S/195.00	S/3,861.00
04.02.02	TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO, SCHEDULE 40, DN 30 PULG	m	93.20	S/235.00	S/21,902.00
04.03	SERVICIO DE MONTAJE - INCLUYE ACCESORIOS MECANICOS Y OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS				
04.03.01	MONTAJE SOPLADORES	unid.	7.00	S/4,500.00	S/31,500.00
04.03.02	MONTAJE DE PARRILLAS DE DIFUSORES	unid.	2.00	S/18,000.00	S/36,000.00
04.03.03	MONTAJE DE DIFUSORES	unid.	3,990.00	S/8.00	S/31,920.00
04.03.04	MONTAJE TUBERIAS DE ACERO	m	113.00	S/280.00	S/31,640.00
04.03.05	MONTAJE DE SOPORTERÍA MECANICA	unid.	1.00	S/8,500.00	S/8,500.00
04.04	OTROS				
04.04.01	DADOS DE CONCRETO f'c=210 kg/cm+40:47	unid.	180.00	S/80.00	S/14,400.00
04.04.02	OTROS VARIOS	glb.	1.00	S/8,000.00	S/8,000.00
05	INSTALACIONES ELECTRICAS E INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL				

05.01	INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN				
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES Y ALUMBRADO 400-230VAC, 3Ø, 3F+N+T, 25kA, 150A, IP41, TIPO INTERIOR, ADOSADO, EQUIPADO CON INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS DE CAJA MOLDEADA SEGÚN SE MUESTRA EN DIAGRAMA UNIFILAR.	m2	1.00		
05.01.01	TAG: TDE-003 (VER PLANO 946240-000-7-105).			S/3,900.00	S/3,900.00
	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES TIPO SECO TRIFÁSICO DE 50kVA Y 460/400-230VAC, CON DEVANADOS DE COBRE, MONTAJE INTERIOR, Y AUTOVENTILADO..	m3	1.00		
05.01.02	TAG: TR-002 (VER PLANO 946240-000-7-103).			S/4,500.00	S/4,500.00
	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO TIPO SECO TRIIFÁSICO DE 15kVA Y 460/208-120VAC, CON DEVANADOS DE COBRE, MONTAJE INTERIOR, Y AUTOVENTILADO.	m3	1.00		
05.01.03	TAG: TR-003 (VER PLANO 946240-000-7-104).			S/2,100.00	S/2,100.00
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA DE 15 KVA, 208-120/120VAC, REDUNDANTE, EQUIPAMIENTO INCLUIDO EN GABINETES METÁLICOS AUTOSOPORTADO DEL TIPO INTERIOR, GRADO DE PROTECCIÓN IP42:	m3	1.00		
05.01.04	• RECTIFICADOR / INVERSOR; FILTROS DE ARMÓNICOS; SWITCH DE TRANSFERENCIA, SISTEMA BY PASS. • CARGADOR DE BATERÍAS DEL TIPO ESTÁTICO • BANCO DE BATERÍAS LIBRE DE MANTENIMIENTO, 60' DE AUTONOMÍA.				
	TAG: UPS-001 (VER PLANO 946240-000-7-104).			S/27,000.00	S/27,000.00
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN 120VAC, 1Ø, 1F+T, 25kA, 60 Hz, 150A, IP41, TIPO INTERIOR, ADOSADO, EQUIPADO CON INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS, SEGÚN SE MUESTRA EN DIAGRAMA UNIFILAR.	m2	1.00		
05.01.05	TAG: TDE-004 (VER PLANO 946240-000-7-106).			S/2,500.00	S/2,500.00
	PANEL DE CONTROL DE ALARMA DE INCENDIOS, CON PROTECCIÓN DE CORTOCIRCUITOS, APROBADO FM, 230 VAC, 1Ø, 60 Hz; SERÁ ALIMENTADO DESDE EL TABLERO ELÉCTRICO DE CARGAS CRÍTICAS CON RESPALDO DE GE-001.	m3	1.00		
05.01.06	TAG: TCI-001 (VER PLANO 946240-000-7-104).			S/3,000.00	S/3,000.00
	PANEL DE CONTROL DEL SISTEMA DE HVAC. INCLUYE INTERRUPTOR DE ALIMENTACIÓN, INTERRUPTORES DERIVADOS, ARRANCADORES DE EQUIPOS,	m3	1.00		
05.01.07	CONTROLADORES, SISTEMA DE MEDICIÓN Y MANDO DEL SISTEMA HVAC A INSTALARSE EN SALA ELÉCTRICA (SUMINISTRADO POR EL PROVEEDOR DEL SISTEMA DE HVAC)			S/2,100.00	S/2,100.00
	CUADRO DE VARIADORES DE VELOCIDAD 460V, PARA MOTORES DE 373 kW, 3Ø, 60 Hz, 65 kA, MONTAJE INTERIOR , SEGÚN ESTÁNDAR IEC 61800-4 / IEEE 519, GRADO DE PROTECCIÓN (GABINETE) IP22. INCLUYE GABINETE ENVOLVENTE, Y ACCESORIOS. (VER PLANOS: 946240-000-7-102 Y 104)	m3	3.00		
05.01.08				S/106,000.00	S/318,000.00
	CUADRO DE VARIADORES DE VELOCIDAD 460V, PARA MOTORES DE 25 kW, 3Ø, 60 Hz, 65 kA, MONTAJE INTERIOR , SEGÚN ESTÁNDAR IEC 61800-4 / IEEE 519, GRADO DE PROTECCIÓN (GABINETE) IP22. INCLUYE GABINETE ENVOLVENTE, Y ACCESORIOS. (VER PLANOS: 946240-000-7-103 Y 104)	m2	8.00		
05.01.09				S/7,500.00	S/60,000.00
	TOMACORRIENTE INDUSTRIAL 3F+T, 460V, 60 A, PARA ESPIGAS CIRCULARES, APTO PARA INSTALACIÓN A LA INTemperie.	m2	3.00		
05.01.10				S/850.00	S/2,550.00
	TOMACORRIENTE INDUSTRIAL MONOFASICO A PRUEBA DE INTemperie 2F+T, 20A, 220VAC, MONTAJE EXTERIOR.	kg	3.00		
05.01.11				S/550.00	S/1,650.00
	ESTACIÓN DE CONTROL APTA PARA INSTALACIÓN A LA INTemperie, CON SELECTOR GIRATORIO DE DOS POSICIONES LOCAL - REMOTO, CON 1 PULSADOR CON	m2	64.00		
05.01.12				S/200.00	S/12,800.00

	CONTACTOS: 1 NA + 1 NC COLOR VERDE (MARCHA) Y UN PULSADOR CON CONTACTOS 1 NA + 1NC COLOR ROJO (PARADA). MATERIAL DE FABRICACIÓN: POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO. GRADO DE PROTECCIÓN IP 66.			
05.02	INSTRUMENTACION Y CONTROL			
	SENSOR / TRANSMISOR / INDICADOR ANALITICO DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, ALIMENTACIÓN 120 V C. A., SEÑAL 4-20 MA, INCLUYE SENSOR, GRADO DE PROTECCIÓN IP68.	unid.	1.00	
05.02.01				S/2,350.00
	SENSOR / TRANSMISOR / INDICADOR ANALITICO DE OXIGENO DISUELTO (OD), ALIMENTACIÓN 120 V C. A., SEÑAL 4-20 MA, INCLUYE SENSOR, GRADO DE PROTECCIÓN IP68.	unid.	1.00	
05.02.02				S/2,101.00
	SENSOR / TRANSMISOR / INDICADOR DE NIVEL, ULTRASONICO, SEÑAL 4-20 MA, ALIMENTACION INTEGRADA CON SEÑAL A 2 HILOS, INCLUYE INDICADOR INDEPENDIENTE PARA VISUALIZACIÓN REMOTA, GRADO DE PROTECCIÓN IP67.	unid.	1.00	
05.02.03				S/2,101.00
	INTERRUPTOR DE NIVEL, ULTRASONICO, SEÑAL DE CONTACTO A 120 VC.A., ALIMENTACION INTEGRADA CON SEÑAL A 2 HILOS, GRADO DE PROTECCIÓN IP67.	unid.	2.00	
05.02.04				S/3,212.00
	SENSOR / TRANSMISOR / INDICADOR DE PH, ALIMENTACIÓN 120 V C. A., SEÑAL 4-20 MA, INCLUYE SENSOR DE PH TIPO INMERSIÓN, GRADO DE PROTECCIÓN IP68.	unid.	1.00	
05.02.05				S/3,325.00
	INDICADOR DE PRESIÓN (MANÓMETRO), ANILLO ROSCADO, DIAL A ESCALA DOBLE, ELEMENTO BOURDON, MATERIAL DE ACERO INOXIDABLE, MONTAJE ROSCADO, CONEXIÓN A PROCESO ROCADA, CON SELLO DIAFRAGMA, GRADO DE PROTECCIÓN IP67.	unid.	3.00	
05.02.06				S/3,211.00
	INTERRUPTOR DE FLUJO, TIPO DISPERCION TERMICA, CONTACTO A 120 C.A., ALIMENTACION INTEGRADA CON SEÑAL A 2 HILOS, GRADO DE PROTECCIÓN IP67.	unid.	3.00	
05.02.07				S/2,111.00
	INDICADOR DE FLUJO, SISTEMA DE MEDICION PARA 30" GABINETE RIO, NEMA 4X O IP 66.CON CAPACIDAD DE 4 DI, 2 DO, 5 AI, COMUNICACIÓN POR PROTOCOLO ETHERNET IP O MODBUS TCP VIA F.O. MULTIMODO	unid.	1.00	
05.02.08				S/321.00
	CABLE DE INSTRUMENTACIÓN 1 P / 18 AWG + SH, 300V, AISLAMIENTO DE PVC, CHAQUETA DE PVC 105 °C, NEC, PLTC, UL, TOTALMENTE APANTALLADO, RETARDANTE A FLAMA Y RESISTENTE AL SOL.	unid.	1.00	
05.02.09				S/1,582.00
	CABLE DE INSTRUMENTACIÓN 8T / 18 AWG + SH, 300V, AISLAMIENTO DE PVC, CHAQUETA DE PVC 105 °C, NEC, PLTC, UL, TOTALMENTE APANTALLADO, RETARDANTE A FLAMA Y RESISTENTE AL SOL.	m2	178.00	
05.02.10				S/12.30
	CABLE DE INSTRUMENTACIÓN 8T / 18 AWG + SH, 300V, AISLAMIENTO DE PVC, CHAQUETA DE PVC 105 °C, NEC, PLTC, UL, TOTALMENTE APANTALLADO, RETARDANTE A FLAMA Y RESISTENTE AL SOL.	kg	150.00	
05.02.11				S/12.50
	CABLE DE CONTROL 3 C # 14 AWG, BARE COPPER, AISLAMIENTO XLPE / XHHW-2, UL, TIPO TC, 600 V, CHAQUETA DE PVC 90 °C, RETARDANTE A LA FLAMA, RESISTENTE AL SOL.	m	150.00	
05.02.12				S/60.00
	CABLE DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA 2 C # 14 AWG + GRD, BARE COPPER, AISLAMIENTO XLPE / XHHW-2, UL, TIPO TC, 600 V, CHAQUETA DE PVC 90 °C, RETARDANTE A LA FLAMA Y RESISTENTE AL SOL.	m2	178.00	
05.02.13				S/12.00
	CONDUIT 1", RIGIDO ACERO GALVANIZADO, LONGITUD: 3 M (10 FT).	m2	30.00	
05.02.14				S/12.60
	CONDUIT 2", RIGIDO ACERO GALVANIZADO, LONGITUD: 3 M (10 FT).	m2	20.00	
05.02.15				S/12.60
	CONDUIT FLEXIBLE LIQUID-TIGHT.	m2	10.00	
05.02.16				S/12.80
06	RETORNO DE LODOS			
		unid.	2.00	
06.01	BOMBA DE RETORNO TIPO DE BOMBA: CENTRÍFUGA HORIZONTAL. Q: 336 - 422 M3/H @ 2 A 9 M TDH			S/12,580.00
06.02	TUBERIA DE IMPULSIÓN			S/25,160.00
	TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO, SCHEDULE 40, DN 20 PULG	m	22.50	
06.02.01				S/195.00
	TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO, SCHEDULE 40, DN 30 PULG	m	18.50	
06.02.02				S/235.00
06.03	SERVICIO DE INSTALACIÓN			

06.03.01	SERVICIO DE MONTAJE E INSTALACIÓN DE BOMBA DE RETORNO DE LODOS	unid.	2.00		
				S/2,569.00	S/5,138.00
06.03.02	ACCESORIOS MECANICOS	glb.	1.00	S/5,800.00	S/5,800.00
07	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LECHOS MOVILES				
07.01	LECHOS MOVILES MARCA KALDNESS MODELO K1	m3	389.49	S/1,580.00	S/615,394.20
07.02	SERVICIOS DE TRANSPORTE E INSTALACIÓN LECHOS MOVILES	m3	389.49	S/350.00	S/136,321.50
08	SERVICIO DE COMISIONAMIENTO				
08.01	COMISIONAMIENTO AIREACION	glb.	1.00	S/43,318.86	S/43,318.86
08.02	COMISIONAMIENTO LECHOS MOVILES	glb.	1.00	S/36,099.05	S/36,099.05
08.03	COMISIONAMIENTO RETORNO DE LODOS	glb.	1.00	S/33,211.12	S/33,211.12
08.04	PUESTA EN MARCHA (SERVICIOS DE CARACTERIZACION DE EFLUENTES)	glb.	1.00	S/30,323.20	S/30,323.20
	COSTOS DIRECTOS	CD			S/2,062,156.67
	COSTOS INDIRECTOS (SEGUROS Y CONTINGENCIAS)	CI	3.00%		S/61,864.70
	GASTOS GENERALES	GG	2.50%		S/51,553.92
	UTILIDAD	U	7.00%		S/144,350.97
	SUBTOTAL				S/2,319,926.26
	IGV				S/417,586.73
	TOTAL				S/2,737,512.98

Costos anuales de energía eléctrica:

ENERGIA ELECTRICA			
AÑOS/DIA	365.00	día	
CONSUMO POR DIA	292.64	kWh/día	
CONSUMO POR AÑO	106,811.78	kWh/año	
COSTO DE ENERGIA	S/ 0.32	Soles/kWh	
COSTO ANUAL ENERGIA	S/ 34,179.77	Soles kWh/año	

Costos anuales en concepto de mantenimiento:

CONCEPTOS DE MANTEMIENTO PUESTOS EN VARIOS		
CONSUMO DE LUBRICANTES POR AÑO (SOLES	S/	1,190.00
REACTIVOS Y MATERIAL FUNGIBLE LABORATORIO	S/	1,976.00
REPOSICIÓN DE HERRAMIENTAS	S/	576.00

TOTAL COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL	S/	3,742.00
Otros costos anuales:		
OTROS COSTOS		
VESTUARIO DE PERSONAL	S/	1,250.00
CONTROL ANALÍTICO DEPURADORA (INDECOPI)	S/	2,500.00
PRIMAS SEGUROS	S/	1,250.00
FORMACIÓN PERSONAL	S/	1,250.00
SEGURIDAD Y SALUD EN LA EXPLOTACIÓN (PROTECCIONES INDIVIDUALES)	S/	2,936.36
TOTALES	S/	9,186.36

COSTO TOTAL DE OPERACIÓN ANUAL: S/ 47,108.13

Llevando este COSTO DE OPERACIÓN OPEX por m³ de agua tratada por año (525,600.00 m³ por año) tenemos que el costo OPERATIVO OPEX por m³ cubico es de S/ **0.09** un valor realmente muy bajo.

Llevando este presupuesto de implementación COSTO DE CAPITAL CAPEX a costo por m³ de agua tratada por año (525,600.00 m³ por año) tenemos que el costo de implementación de lechos móviles en una laguna facultativa por m³ cubico por año es de S/ **5.21**.

ANEXO 8

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES UTILIZANDO DIFERENTES TRATAMIENTOS

SAE	DBO		DQO		% Remoción DBO	% Remoción DQO
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente		
25/01/2012	421	211	845	506	49.88	40.12
15/08/2015	502	226	915	524	54.98	42.73
26/08/2015	581	352	862	601	39.41	30.28
SAE + LM	DBO		DQO		% Remoción DBO	% Remoción DQO
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente		
26/01/2012	421	150	845	289	64.37	65.80
16/08/2015	502	167	915	387	66.73	57.70
28/08/2015	581	172	862	267	70.40	69.03
SAE + LMT	DBO		DQO		% Remoción DBO	% Remoción DQO
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente		
27/01/2012	502	144	845	628	71.31	25.68
17/08/2015	502	182	915	403	63.75	55.96
27/08/2015	581	284	862	504	51.12	41.53