



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS UNIDADES DE PROCESO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN PUNO

PRESENTADA POR:

CÉSAR JULIO LARICO MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2017



DEDICATORIA

Con mucho amor y agradecimiento eterno a mis padres Pedro e Inés, por ser fuente de inspiración de superación constante.



AGRADECIMIENTOS

A nuestro señor Jesucristo, te entrego mi vida y mis actos, fortaléceme cada día con tu espíritu
santo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	3
1.1.1. Tratamiento de aguas residuales	3
1.1.2. Tratamiento de aguas residuales y demanda biológica de oxígeno	3
1.1.3. Tecnologías existentes	9
1.2. Antecedentes	27
1.2.1. Eficiencia de lodos activado	27
1.2.2. Eficiencia de filtros percoladores	28
1.2.3. Eficiencia de lagunas facultativas	29

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	32
----------------------------------	----



2.2. Enunciados del problema	33
2.2.1. Problema general	33
2.2.2. Problemas específicos	33
2.3 Justificación	34
2.4. Objetivos	35
2.4.1. Objetivo general	35
2.4.2. Objetivos específicos	35
2.5. Hipótesis	35
2.5.1 Hipótesis general	35
2.5.2. Hipótesis específicas	35

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudios	37
3.1.1. Filtro percolador	37
3.1.2. Lagunas facultativas	38
3.1.3. Lodos activados	38
3.1.4. Ubicación geográfica	39
3.1.5. Ubicación política	40
3.2. Población	40
3.3. Muestra	40
3.4. Método de investigación	41
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	41
3.5.1. Descripción de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno	41



3.5.2. Determinación de la eficiencia de remoción de carga orgánica de las aguas residuales, en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados	41
3.5.3. Determinación de la eficiencia de remoción de carga patógena (coliformes fecales o termotolerantes) de las aguas residuales, en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados	42
3.5.4. Determinación de la eficiencia de remoción de carga orgánica y patógena	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno	44
4.2. Eficiencia de remoción de carga orgánica presente en aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados	57
4.3. Eficiencia de remoción de carga patógena presente en las aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados	64
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Ubicación geográfica de los procesos de tratamiento existentes de la región de Puno	39
2. Ubicación política de las unidades de procesos de tratamiento existentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región de Puno .	40
3. Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas tratadas en unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	58
4. Promedio de las eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en relación al reglamento nacional de edificaciones en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno .	59
5. Eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno observadas en las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados	62
6. Promedio y varianza de los porcentajes de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presentes en aguas residuales en las unidades de proceso	63
7. Análisis de varianza para la remoción de demanda bioquímica de oxígeno en las unidades de proceso filtro percolador, laguna facultativa primaria, laguna facultativa secundaria, y lodos activados.	63
8. Eficiencia de remoción de la carga patógena o coliformes fecales presente en aguas residuales domésticas tratadas en unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	64
9. Promedio de las eficiencias de remoción de coliformes fecales o termo tolerantes presente en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en relación al reglamento nacional de edificaciones en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	65



10. Eficiencias de remoción de coliformes fecales observadas en las unidades de proceso
filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados 67
11. Promedio y varianza de los porcentajes de remoción de coliformes fecales presentes en
aguas residuales en las unidades de proceso 68
12. Análisis de varianza para la remoción de coliformes fecales en las unidades de proceso
filtro percolador, laguna facultativa primaria, laguna facultativa secundaria, y lodos
activados 68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales	5
2. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales	6
3. Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado	8
4. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales	9
5. Sistema de desarenado y rejillas de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de México y Brasil	11
6. Sedimentadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil y México	12
7. Manejo de lodos activados en una PTAR	14
8. Lagunas de estabilización de las planta de tratamiento de aguas residuales de México y Brasil	17
9. Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento secundario de aguas residuales de lodos activado	20
10. Estanque de aireación de una planta de depuración de aguas residuales de lodo activado	20
11. Sistemas de lodos activados (depuradora de aguas residuales)	22
12. Esquema de un filtro percolador	25
13. Corte ampliado muestra detalles de construcción de un filtro biológico	26
14. Sistema de filtro biológico, las aguas residuales se pulverizan a lo largo de un medio poroso	26
15. Ubicación de los filtros percoladores del distrito de José Domingo Choquehuanca	37
	viii



16. Ubicación de las lagunas facultativas del distrito de Pucará	38
17. Ubicación de los lodos activados de la provincia de Yunguyo	39
18. Distribución continua de las aguas residuales en el filtro percolador mediante brazo giratorio	45
19. Modelo existente de filtros percoladores	46
20. Planta de tratamiento de aguas residuales de José Domingo Choquehuanca Fuente: elaboración propia	46
21. Vista del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de José Domingo Choquehuanca	47
22. Vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de José Domingo Choquehuanca	47
23. Vista de las lagunas facultativas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pucará	48
24. Lagunas facultativas del distrito de Pucara	49
25. Vista satelital lagunas facultativas del distrito de Pucara – provincia de Lampa	50
26. Cámara de rejillas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	51
27. Sistema de cribas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	52
28. Tecnología de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	52
29. Decantador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	53



30. Desinfección de rayos UV de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	53
31. Espesador de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	54
32. Digestor de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	54
33. Bombas de tipo tornillo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	55
34. Desinfectadora de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	55
35. Lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	56
36. Vista satelital de la planta de tratamientos de aguas residuales de la provincia de Yunguyo	56
37. Tanques de aireación ICEAS	57
38. Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas y/o municipales en el ingreso y salida de las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	60
39. Promedio de eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas y/o municipales en las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	61
40. Promedio de coliformes fecales presentes en aguas residuales domésticas y/o municipales en el ingreso y salida de las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	66
41. Promedio de eficiencias de remoción de coliformes fecales presentes en aguas residuales domésticas y/o municipales en las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno	66



ÍNDICE DE ANEXOS

1. Panel fotográfico

80

RESUMEN

Las aguas residuales domésticas contienen principalmente materia orgánica biodegradable y carga patógena, componentes removidos en las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados, unidades presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento de las unidades de proceso en los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno. Para ello se siguió el método hipotético deductivo de alcance descriptivo, describiéndose las unidades de proceso: filtro percolador – distrito José Domingo Choquehuanca, laguna facultativa – distrito de Pucara y lodos activados – provincia de Yunguyo, en las que se determinó la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes. Las unidades de lodos activados y filtros percoladores están precedidas de tratamiento primario; sin embargo, el filtro percolador presenta forma cuadrada lo que no garantiza una distribución uniforme y permanente de las aguas residuales conforme sucede con la forma circular; las lagunas facultativas no cuentan con unidades de tratamiento primario por lo que no se logra eficiencia de remoción esperada. El porcentaje de remoción promedio para la demanda bioquímica de oxígeno para filtros percoladores es de 64%, lodos activados es de 88%, lagunas facultativas primarias 49% y lagunas facultativas secundarias 59% y el porcentaje de remoción de bacterias coliformes es superior al 90%. Se concluye que las unidades de proceso pueden presentar eficiencias de remoción más altas para la carga orgánica y carga patógena, siempre y cuando se opere conforme a los cálculos de diseño.

Palabras clave: Carga, coliformes, eficiencia, fecales, orgánica, patógena, remoción.



ABSTRACT

Domestic wastewater contains mainly biodegradable organic matter and pathogen load, components removed in the process units: percolating filters, facultative lagoons and activated muds, units present in the wastewater treatment systems. The purpose of this study was to evaluate the performance of the process units in the different domestic wastewater treatment systems in the Puno region. For this purpose, the hypothetical deductive method of descriptive scope was followed, describing the process units: percolating filter - José Domingo Choquehuanca district, facultative lagoon - Pucara district and activated sludge - Yunguyo province, in which the removal of biochemical oxygen demand and coliform bacteria was determined. The activated sludge and percolating filter units are preceded by primary treatment; however, the percolating filter has a square shape, which does not guarantee a uniform and permanent distribution of wastewater, as is the case with the circular shape; the facultative lagoons do not have primary treatment units, so the expected removal efficiency is not achieved. The average removal percentage for biochemical oxygen demand for percolating filters is 64%, activated sludge is 88%, primary facultative lagoons 49% and secondary facultative lagoons 59%, and the percentage of coliform bacteria removal is over 90%. It is concluded that the process units can have higher removal efficiencies for organic load and pathogen load, as long as they are operated according to the design calculations.

Keywords: Coliforms, efficiency, fecal, load, organic, pathogenic, removal.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, aproximadamente el 86% de las aguas residuales son descargadas directamente al: mar, lagos y ríos sin tratamiento alguno y en la región de Puno (SUNASS, 2008), la situación es aún más preocupante, pues en la actualidad solo algunas provincias y distritos, cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, de los cuales poco se conoce respecto a sus componentes y su funcionamiento, por su ubicación en el altiplano y sobre todo por ser circundantes al Lago Titicaca.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se componen de operaciones y procesos unitarios, siendo los primeros los que acondicionan el agua residual a tratar, es decir remueven elementos inertes como arena, grasa y sólidos gruesos, elementos que no permiten un tratamiento adecuado; mientras los procesos, a través de reacciones biológicas con intervención de microorganismos remueven o reducen la carga orgánica y patogénica. La carga orgánica y patógena son parámetros más importantes de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Los procesos biológicos pueden ser aeróbicos, anaeróbicos y facultativos, en el presente estudio el filtro percolador y el sistema de lodos activados son unidades de proceso aeróbicos, es decir, ocurren procesos de oxidación; en cambio la laguna facultativa, la porción superior y mayor es donde ocurren reacciones biológicas aeróbicas, mientras que en el fondo suceden reacciones anaeróbicas o de reducción.

En ese orden de ideas, se aclara que las unidades de proceso lagunas facultativas y filtros percoladores, funcionan de manera natural, aprovechando la energía luminosa y el aire, tan solo requiriendo el mantenimiento adecuado y de personal no tan calificado para el funcionamiento de la planta; mientras que las unidades de proceso de lodos activados para su funcionamiento es necesario suministrar aire a los tanques contenidos con aguas residuales a través de compresoras que requieren energía eléctrica y personal altamente calificado para su operación, lo que se traduce en el costo que demandaría el tratamiento de las aguas residuales mediante esta tecnología.

De lo anterior, se desprende que la implementación con una determinada unidad de proceso en el sistema tratamiento de las aguas residuales, sea sostenible en el tiempo, para una



determinada población de la región de Puno, implicaría el costo y/o la disponibilidad a pagar por el tratamiento de las aguas residuales si el tratamiento se realizara con la unidad de proceso de lodos activados, en comparación al tratar las aguas residuales mediante lagunas facultativas y filtros percoladores que no refleja costo considerable.

En las circunstancias actuales, el gobierno peruano tiene la decisión política de construir 10 plantas de tratamiento de aguas residuales en la región Puno (DECRETO SUPREMO N° 007-2016-VIVIENDA), pero la construcción de estas, al parecer no tendría el sustento técnico y científico, porque se estaría pretendiendo implementar con una nueva tecnología en la región Puno, lo cual sería realidad sería un experimento más a estudiar, puesto que las condiciones del altiplano son únicas.

Por lo descrito, se evaluó las unidades de proceso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en la región de Puno, como son: en el distrito de José Domingo Choquehuanca con la unidad de filtro percolador, distrito de Pucará con lagunas facultativas y en la provincia de Yunguyo con la unidad de lodos activados determinando las eficiencias de remoción de la carga orgánica y patogénica, a fin de optimizarlos y proponerlos para su implementación futura.



CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales recogidas por comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia, a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. La compleja pregunta acerca de qué contaminantes contenidos en el agua residual y a qué nivel deben ser eliminados de cara a la protección del entorno, requiere una respuesta específica en cada caso concreto. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar tanto los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniería, respetando la legislación y las normas reguladoras de la calidad del agua existente (Metcalf & Eddy, 1996).

Las aguas residuales contienen compuestos orgánicos e inorgánicos potencialmente dañinos, además de microorganismos patógenos. Para la eliminación o neutralización de los contaminantes se requieren la aplicación de procesos físicos, químicos y microbiológicos. La composición de las aguas residuales domésticas comprende las aguas negras, aguas grises (proveniente de lavados, baños y cocina) y las que derivan del procesamiento de alimentos (Madigan *et al.*, 2009).

1.1.2. Tratamiento de aguas residuales y demanda biológica de oxígeno

El objetivo de una planta de tratamiento de aguas residuales es la reducir los elementos orgánicos e inorgánicos del agua a concentraciones que limiten el crecimiento

microbiano y al mismo tiempo eliminar elementos potencialmente tóxicos. La eficacia del tratamiento de aguas residuales domésticas por una planta, es entendida como la capacidad de reducir las concentraciones del parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para oxidar por completo la materia orgánica presente en una muestra de agua. Remover el material contaminante, orgánico e inorgánico es uno de los propósitos fundamentales en el tratamiento de las aguas residuales, los cuales se encuentran formas de partículas disueltas y/o suspensión, siendo así uno de los objetivos garantizar la calidad del agua para su reutilización según la normativa de descarga de aguas residuales a la que se destinara (Madigan *et al.*, 2009).

En la figura 1 se presenta un esquema de concepto del sistema de aguas residuales, la integración de los procesos químicos, biológicos y las operaciones físicas con el objetivo de depurar las aguas residuales, estas características serán seleccionados en función al agua residual a tratar y de la calidad del agua a obtenerse, los residuos sólidos que son retenidas en la cámara de rejillas o semisólidos en forma de lodos es posible que generen emisión de gases a la atmosfera. La ley de la preservación en un sistema de tratamiento de aguas residuales al separar el material del contaminante este solo se trasfiera o solo se transforme. Es por ello que siempre se obtendrá residuos como los lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, a ello se suma la emisión de gases que son emitidas a la atmosfera, las características de los residuos dependerán de la cantidad y calidad del agua residual, eventualmente del tipo de tratamiento a que se someta las aguas residuales (Noyola *et al.*, 2013).

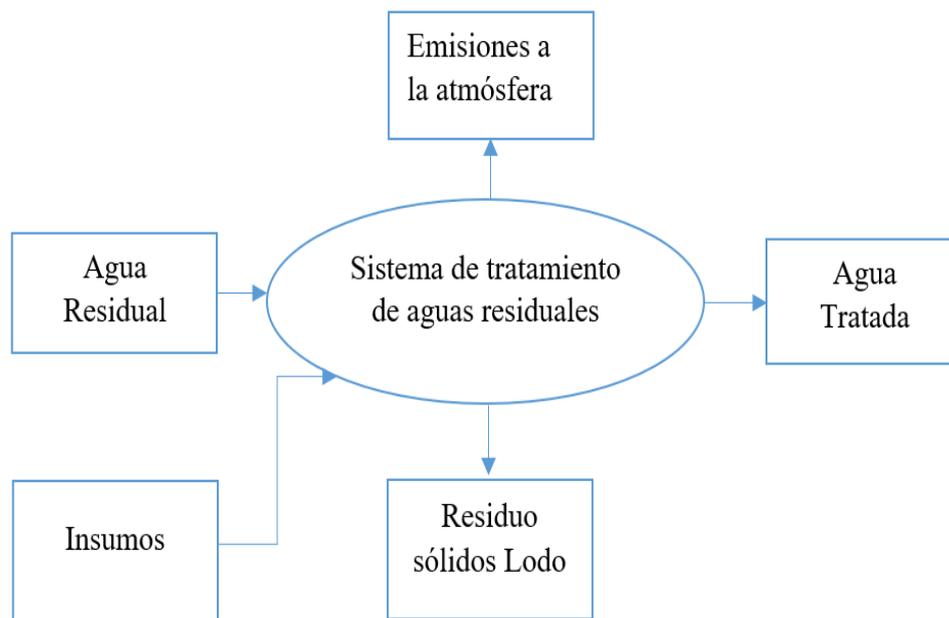


Figura 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

En función al tipo de tecnología aplicada para el tratamiento de las aguas residuales de ello dependerá los costos de mantenimiento y operación, así como los insumos de energía eléctrica y reactivos químicos que serán necesarias para su modificación, para integrar un tren de tratamiento en la figura 2 se presenta un esquema de posibles tecnologías, en este esquema se divide en dos grupos los tratamientos fisicoquímicos y los tratamientos biológicos, los tratamientos físicos es un proceso en el cual se hace uso de la gravedad atracción electrostática filtración por retención física y otros, el tratamiento químico es el proceso en el cual se lleva la coagulación, absorción, oxidación, precipitación y otros, así mismo el tratamiento biológico consta en la degradación de la materia orgánica a través de microorganismos (Noyola *et al.*, 2013).

En los sistemas biológicos de tratamiento de las aguas residuales se dividen en dos tipos de sistemas aerobios son los que requieren oxígeno disuelto, los tratamientos anaerobios no requieren de oxígeno, sin embargo existe un tipo de tratamiento natural el cual sufre un proceso natural en el tratamiento de las aguas residuales, es por ello que de estas unidades de tratamiento se busca lograr su capacidad de tratamiento en unidades de proceso controladas, siendo así el caso de los humedales artificiales así



como el tratamiento de descargas directas al suelo, así mismo los sistemas anaerobios se pueden clasificar en tres niveles según su interacción de los microorganismos con el sustrato a degradar la facilidad de transferencia de masa, la implicancia entre el tiempo retenido de los microorganismos en un sistema el cual se denomina tiempo de retención celular TRC, así como el tiempo de retención hidráulica TRH (Noyola *et al.*, 2013).

Los lodos que vienen siendo generados por los tratamientos de aguas residuales deben ser dispuestos adecuadamente para no generar un impacto al medio ambiente. Existen distintos métodos de tratamiento para lodos, tanto biológicos y fisicoquímicos mismos que deben estar integrados en los tratamientos de aguas residuales, en la figura 2 se detalla a más profundidad los sistemas de tratamiento de lodos y aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1996).

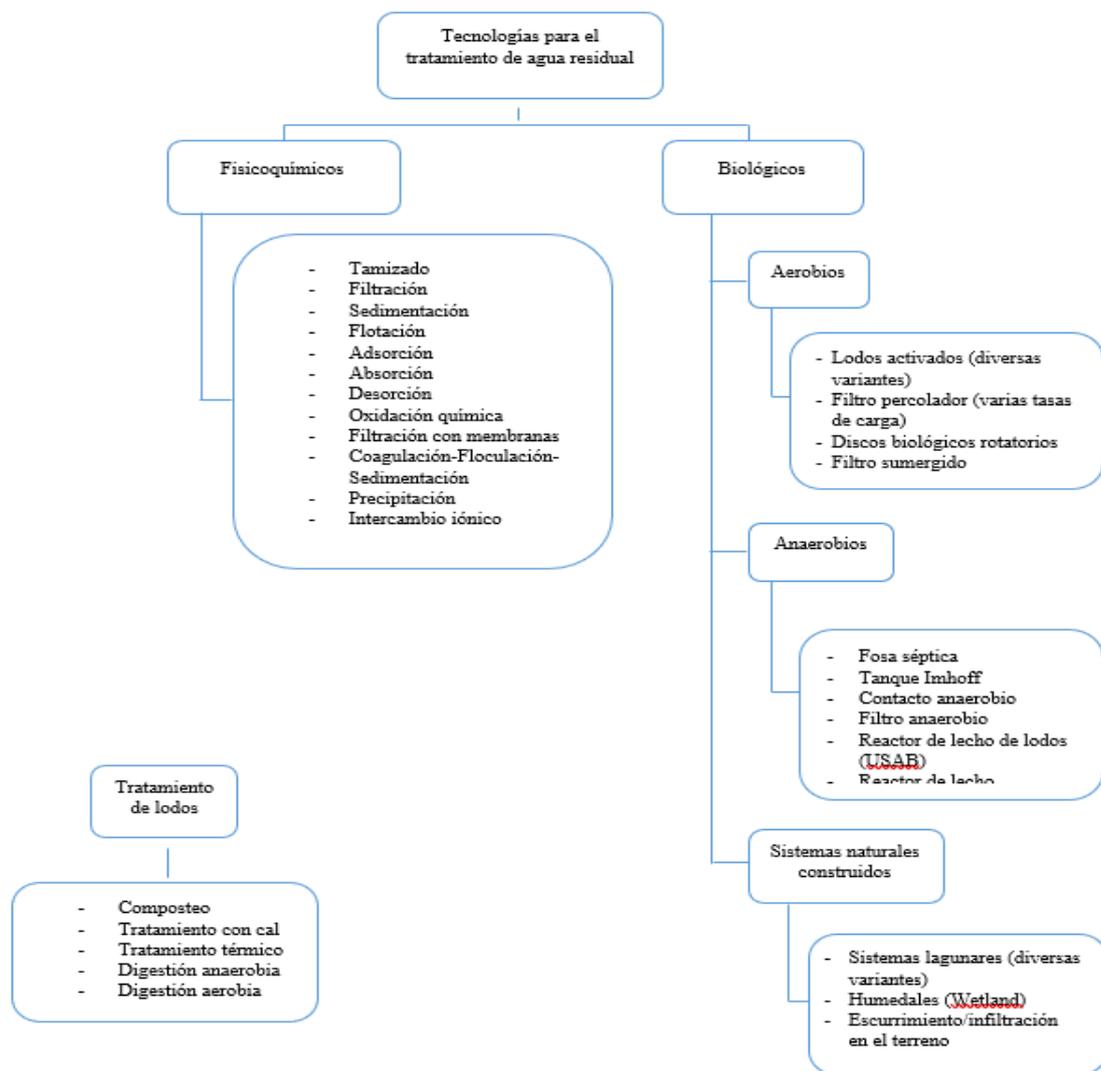


Figura 2. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

La materia orgánica contiene una energía química (sustrato) creada por metabolismo microbiano vía anaerobia o aerobia que se presenta en un esquema de flujo para su mejor entendimiento se ilustra en la Figura 3, el 65% de energía creada por el metabolismo microbiano terminan creando nuevas células más conocidas como lodos conocidas más como lodos por medio de la energía de anabolismo., lo demás resulta como una energía de liberación que ayuda en la vitalidad de la célula.es necesario que los lodos reciban un tratamiento de forma aerobia con la intervención de sistemas mecanizados adicionando energía eléctrica ya que es importante para pase oxígeno a

los microorganismos y ala agua como equipos electromecánicos (Metcalf & Eddy, 1996).

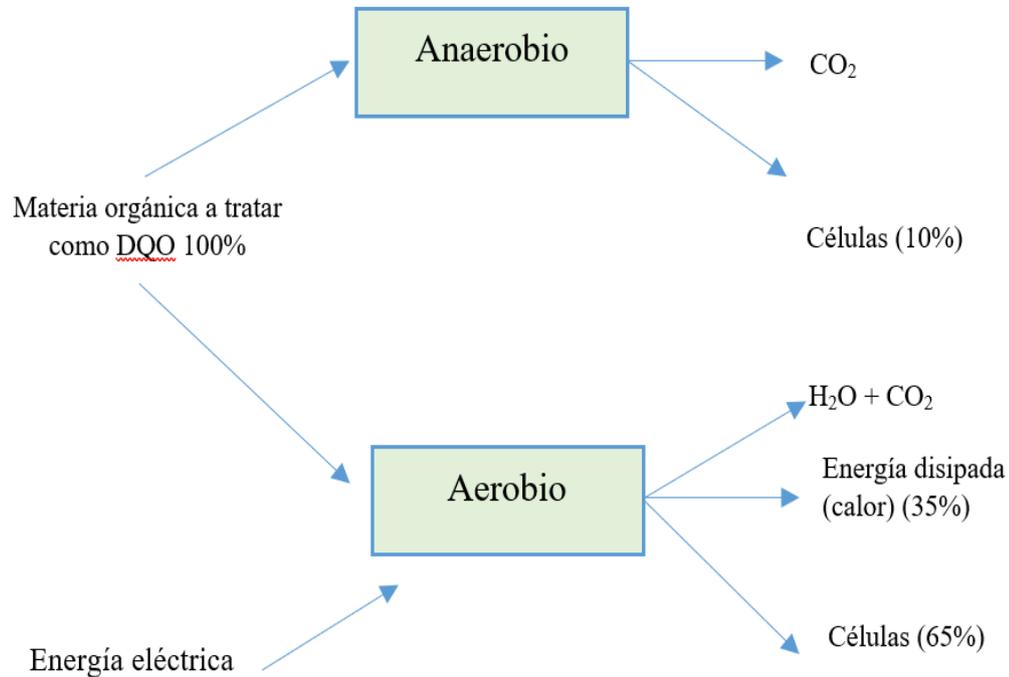


Figura 3. Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado.

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

El 90% de la energía se encuentra en la molécula de metano el cual se puede usar como combustible para generar electricidad o calor u otros usos, es este sustrato que se trata de forma anaeróbica, cabe señalar que la para la operación de los sistemas de anaerobios no se usa energía comparado al tipo aerobio. Del lodo solo el 10% se transforma en energía de sustrato, diferenciándose así del sistema aerobio pues la cantidad de lodos es seis veces menos a tratar y disponer, el cual reduce considerablemente los costos asociados a estos requerimientos, la diferencia entre el sistema aerobio con el anaerobio es ampliamente y por lo cual es utilizada, teniendo esta la calidad del agua superior al afluente anaerobio permitiendo cumplir con las regulaciones ambientales estrictas, el material orgánico disuelto la demanda química de oxígeno DQO, y los compuestos inorgánicos en mínima cantidad sulfuro de

hidrogeno, amonio son materia orgánica de los efluentes anaerobios, consideradas generadoras de impactos al medio receptor (Noyola *et al.*, 2013).

Al utilizarse el sistema anaerobio se logra sacar ventaja de las características, así mismo este sistema debe ser seguida por un sistema aerobio garantizando la eficiente degradación de la materia contenida del efluente anaeróbico de esta manera poder cumplir con lo establecido en las normas de descarga de efluentes, para el planteamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe considerar como primer tratamiento un sistema anaerobio así como segundo tratamiento un sistema aerobio, siendo estas las más económicas en la operación y mantenimiento, es así que el sistema de anaerobio remueve alrededor de un 65% de la materia orgánica de las aguas residuales todo ello sin la necesidad de energía para su aireación, posterior a ello el sistema aerobio terminara de remover la materia orgánica, obteniendo un agua tratada de excelente calidad, siendo así la producción de lodos en menor cantidad, así como la obtención de biogás que se pueda usar en la misma planta (Metcalf & Eddy, 1996).

1.1.3. Tecnologías existentes

Existe una variedad de tecnologías existentes de distintos procesos y operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales, los tipos de componentes de tratamiento de las aguas residuales se clasifican en las operaciones físicas unitarias, proceso químico procesos biológicos unitarios, es así que estos tipos de tratamiento se mezclan en los sistemas de tratamiento de depuración de las aguas residuales, obteniéndose un tren de tratamiento tal como se muestra en la figura 4 (Lopez *et al.*, 2017).

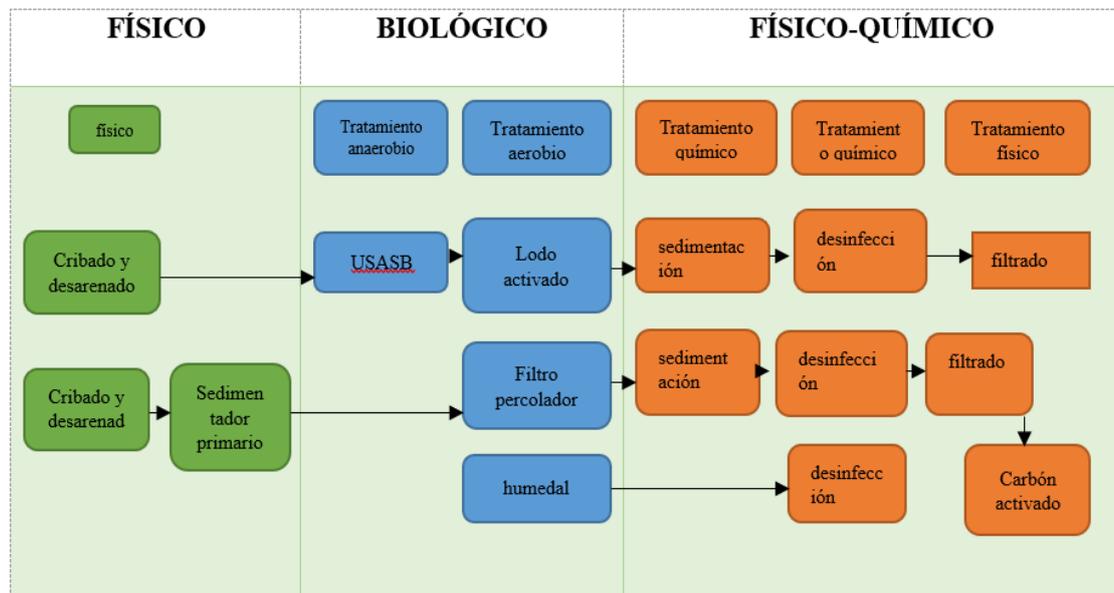


Figura 4. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

1.1.4. Definición de los niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales

En función a la disposición final de las aguas residuales se propone el tratamiento adecuado, la que también puede estar sujeta a determinada normativa.

1.1.4.1. Tratamiento preliminar

El propósito del tratamiento preliminar es la remoción de sólidos gruesos y materiales flotantes que normalmente se encuentran en el desagüe, con ello se mejora la operación y el mantenimiento de los procesos subsecuentes en la planta. Las operaciones del tratamiento preliminar, típicamente incluyen tamizado, desarenado y menos frecuentemente desengrasado. Tradicionalmente, las rejas para el tratamiento de agua residual se han construido como barras paralelas con aberturas de 5 a 50 milímetros. Cuando las aberturas de la reja son muy pequeñas (menores a 6 mm), se produce una cierta eliminación de DBO₅ y sólidos suspendidos. Con la eliminación de sólidos también se logra una cierta reducción de bacterias, tal como se observa en la figura 5 (Noriega, 1999).

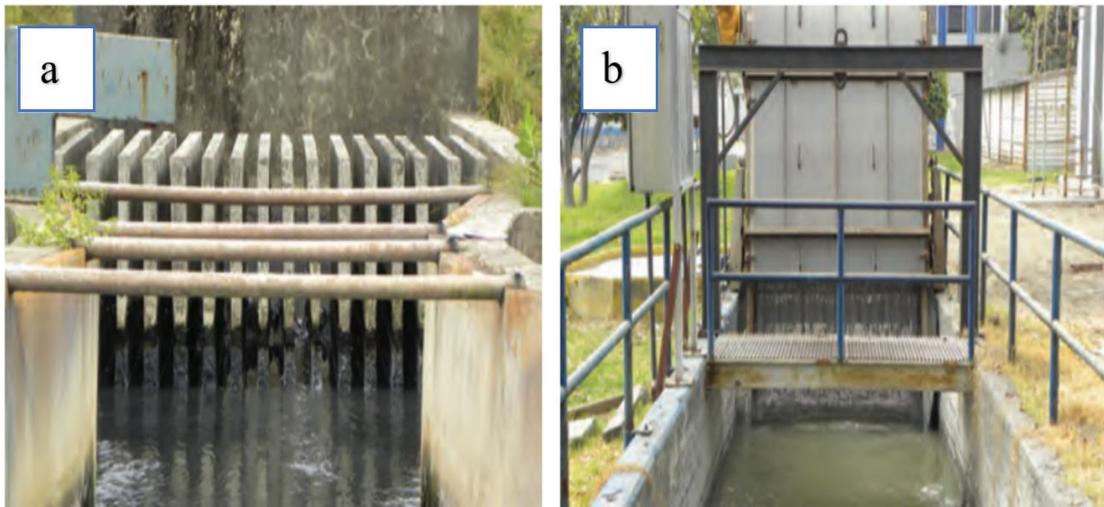


Figura 5. Sistema de desarenado y rejillas de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de México y Brasil.

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

1.1.4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario consiste en remoción y/o reducción por sedimentación de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, así como de espumas y otros materiales flotantes. Aproximadamente entre el 25 y 50% de la DBO_5 y entre el 50 y 70% de sólidos suspendidos, así como, el 65% de aceites y grasas pueden ser removidos con este tratamiento. Una planta de tratamiento primario, generalmente consiste de unidades de tratamiento preliminar (rejas, desarenadores, y medidores de caudal) y estanques de sedimentación. Los sedimentadores primarios o clarificadores son tanques circulares o rectangulares de 3 a 5 metros de profundidad, con un periodo de retención hidráulica de 2 a 3 horas. Los sólidos sedimentados o lodo primario, son removidos del fondo por medio de raspadores, siendo concentrados en una tolva central. En plantas de tratamiento primario de más de 90L/s, el lodo primario es procesado biológicamente por medio de la digestión anaeróbica. En este proceso, las bacterias anaeróbicas y facultativas metabolizan la materia orgánica del lodo, convirtiendo la mayor parte en gas (CH_4 , CO_2 , H_2S , N_2 , etc.), tal como se observa en la figura 6 (Noriega, 1999).

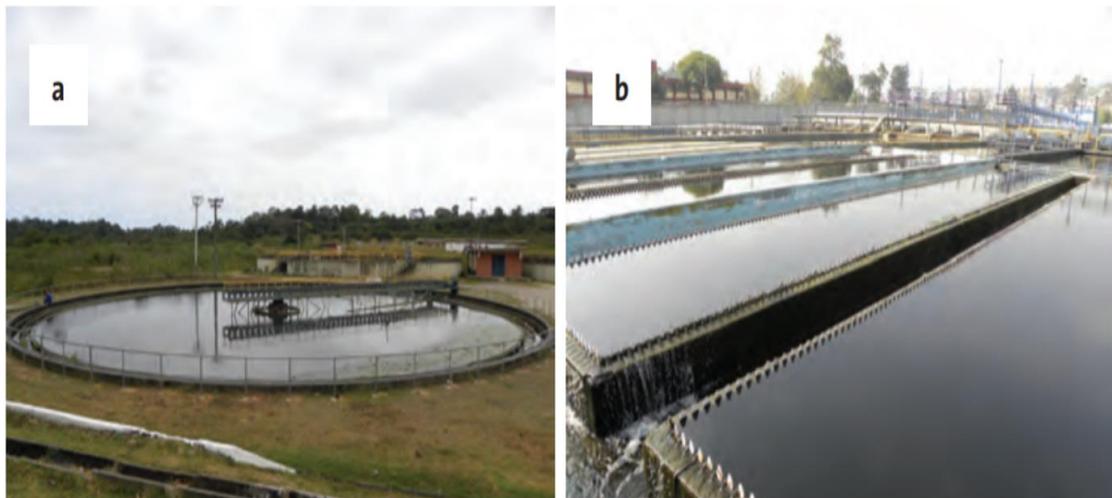


Figura 6. Sedimentadores de las Planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil y México

Fuente: Noyola *et al.* (2013).

1.1.4.3. Tratamiento secundario

Es el grado o la intensidad de descontaminación del agua servida, generalmente este tipo de componentes o sistemas de tratamiento incluyen procesos biológicos de depuración para las cuales crean ambientes adecuados para el desarrollo de micro organismos aerobio y anaerobio como; bacterias, hongos microalgas, algas, protozoarios, entre otros que mediante el metabolismo de estos organismos vivos se reduce o eliminan los contaminantes del agua residual (Ramalho, 2003).

El tratamiento secundario logra una eficiencia de remoción en su proceso de biológico del 50% al 95% de reducción de la DBO_5 por medio de sus reacciones bioquímicas de microorganismos (ATDR, 2013), normalmente se usa más los siguientes sistemas como tratamiento secundario:

Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida.

Lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas

Filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.

Teniendo en consideración que las aguas residuales domésticas presentan en forma soluble materia orgánica biodegradable, y por ese mismo hecho es que la eliminación se debe principalmente a procesos biológicos, caracterizándose estos por su bajo costo y alta eficiencia de remoción. La materia orgánica biodegradable es transformada por microorganismos en nuevas células, energía y compuestos orgánicos e inorgánicos. Los microorganismos al digerir la materia orgánica biodegradable soluble forman flóculos, los que migran hacia el fondo de agua, siendo separados por sedimentación. El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales domésticas es la reducción del material orgánico biodegradable, y en algunos casos la eliminación de nutrientes como el fósforo y nitrógeno (Ramalho, 1996).

En el proceso biológico existen dos tipos de grupo, los anaerobios y los aerobios, la característica del proceso anaerobio es la baja tasa de síntesis bacteriana, siendo así baja la producción de desecho de lodos, es así que el tratamiento aerobio la mayor cantidad de energía del sustrato es usada para síntesis celular, generando una mayor cantidad de biomasa como lodos no estabilizados, lo cual dificulta el tratamiento y la disposición final así como el costo del tratamiento (Martin & Lopez, 2015).

1.1.4.4. Tratamiento terciario o avanzado

El tratamiento terciario va a depender mucho del tipo de agua que se quiera lograr purificar, en este tratamiento fundamentalmente se logra la remoción de nutrientes como fósforo y nitrógeno, ocasionalmente la finalidad de este nivel de tratamiento terciario es evitar que las aguas residuales al momento de la descarga provoquen la eutrofización o el crecimiento descontrolada de las algas en las lagunas lagos o en puntos de descarga que en algunas ocasiones es baja el caudal lo cual genera el consumo de oxígeno disuelto causando impactos sobre la vida acuática en los puntos de descarga, estas aguas de usos de tratamiento terciario se pueden aplicar al riego de áreas agrícolas, así como la crianza de peces y otras actividades productivas, las descargas de los tratamientos terciarios también pueden tener usos como la recarga de acuíferos o para usos industriales, los procesos de tratamiento más usados son la filtración flotación, destilación, osmosis inversa entre otros (ATDR, 2013).

El tratamiento terciario se encarga de hacer el pulimiento del agua después de pasar por el tratamiento secundario ello con el objetivo de desaparecer los compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica residual no degradable, este tratamiento se usa cuando las condiciones de descarga son estrictas y deben de cumplirse sin exceder o alterar el punto de descarga, lográndose que las aguas tratadas sean de calidad y de uso específico para lograr todo ello se tuvo que combinar los procesos de operación unitaria (Rigola, 1990).

1.1.4.5. Tratamiento y disposición de lodo

Los lodos generados en el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales son estabilizados y deshidratados para su disposición final, mediante espesadores, digestores y lechos de secado (ANA, 2016).

Una deficiencia muy frecuente en los proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales es que no incluyen el manejo de los lodos generados. Esto es especialmente importante en los procesos que generan permanentemente lodos y que deben ser tratados para su disposición final. Como se observa en la figura 7, para instalar los equipos y ambientes usados para procesar los lodos en una planta de lodos activados se requiere un terreno similar al utilizado para el tratamiento del agua, por tanto, la planta debe disponer del doble de terreno. El tratamiento de lodos demanda barre lodos, bombas de lodos, digestores, secadores y lechos de secado de lodos, equipos y ambientes que demandan casi la mitad de la energía requerida por la planta (ANA, 2016).

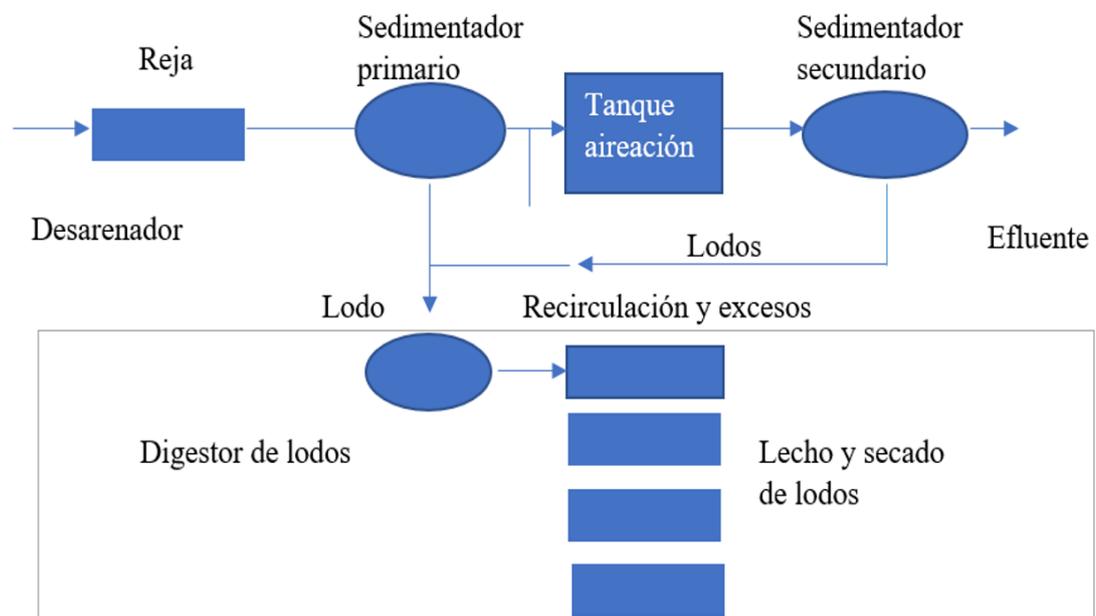


Figura 7. Manejo de lodos activados en una PTAR

Fuente: (ANA, 2016).

En el tratamiento de las aguas residuales domésticas, en las diferentes etapas siempre se generará lodos, siendo indistinto al proceso biológico aerobio y anaerobio. El lodo generado se debe tener en cuenta en la selección del sistema de tratamiento considerando que la materia no se crea ni se destruye solo se transforma, de acuerdo a la ley de conservación de la materia, esta ley también está implícita en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, por el hecho de que gran parte de los contaminantes presentes se convierten en lodo (Noyola *et al.*, 2013).

Los lodos pueden ser tratados por digestión anaerobia, digestión aerobia, compostaje con residuos celulósicos, estabilizarlos con cal, incineración y pasteurización. Los lodos pueden ser dispuestos conforme a normativa en sitios acondicionados para ello o rellenos sanitarios. Conforme al cumplimiento de la normatividad, los lodos pueden ser dispuestos en suelos (mejora) o fertilizantes en forma de biosólidos (Ramis, 2019)

1.1.5. Procesos aerobios

1.1.5.1. Sistema de lagunas

El sistema de lagunas se caracteriza por la degradación de materia orgánica gracias a la interacción de bacterias y algas; las primeras se encargan de consumir la materia orgánica y oxígeno y generan CO₂, entre tanto que las segundas consumen el CO₂ y generan oxígeno por la reacción de fotosíntesis, es gracias a esta última reacción que las concentraciones de oxígeno disuelto se mantienen adecuada en la zona superior de la laguna. Los sistemas basados en lagunas se caracterizan generalmente por la secuencia conectada de dos o tres estanques en serie, como se puede observar en la figura 8 (Aguilar *et al.*, 2002)

Las lagunas facultativas se caracterizan porque cuenta con una zona aerobia en la parte superior y una zona anaerobia en la parte inferior, con profundidades que oscilan entre 1 y 2 metros; las lagunas de oxidación se caracterizan porque no presentan zonas anaerobias, razón por la cual la profundidad es menor a 1 metro, en este tipo de laguna se los eliminar considerablemente a los microorganismos patógenos. Las lagunas anaerobias se caracterizan por tener profundidades que oscilan entre 3 y 5 metros, y es por este hecho que los sólidos suspendidos y materia flotante es reducido en estas unidades. En algunos sistemas se recomienda como primer elemento de la serie de tres lagunas (Fidencio & Diaz, 2002).

Los sistemas de lagunas pueden estar sujetas a variaciones, de estas se tiene a las lagunas aireadas, llamadas así por el aire suministrado de manera artificial mediante aireadores flotantes (Figura 8). En base a la potencia de agitación y a la profundidad, se obtiene lagunas facultativas que cumplen el 100% de su aeración, en base a ello se puede asumir la presencia de lagunas facultativas de 2 a 5 metros de profundidad ya sea de aerobias o anaerobias (Fidencio & Diaz, 2002).

La evacuación de los lodos generados en las lagunas anaerobias es de 1 a 5 años, y de 10 a 20 años para el caso de lagunas facultativas y de pulimento, conforme la cantidad de sólidos recibidos. Conforme a la estabilización de lodos, estos pueden ser dispuestos en campo o en relleno sanitario. La evacuación de lodos se requiere que estén secos,

ello sucederá cuando en la serie de lagunas se evite el ingreso de las aguas residuales y estas terminarán secando por exposición al sol, por estas razones se recomienda que las lagunas deben ser sistemas paralelos, esta acción debe ser en temporadas del año en el que no haya lluvias (Fidencio & Diaz, 2002).



Figura 8. Lagunas de estabilización de las Planta de tratamiento de aguas residuales de México y Brasil

Fuente: (Fidencio & Diaz, 2002).

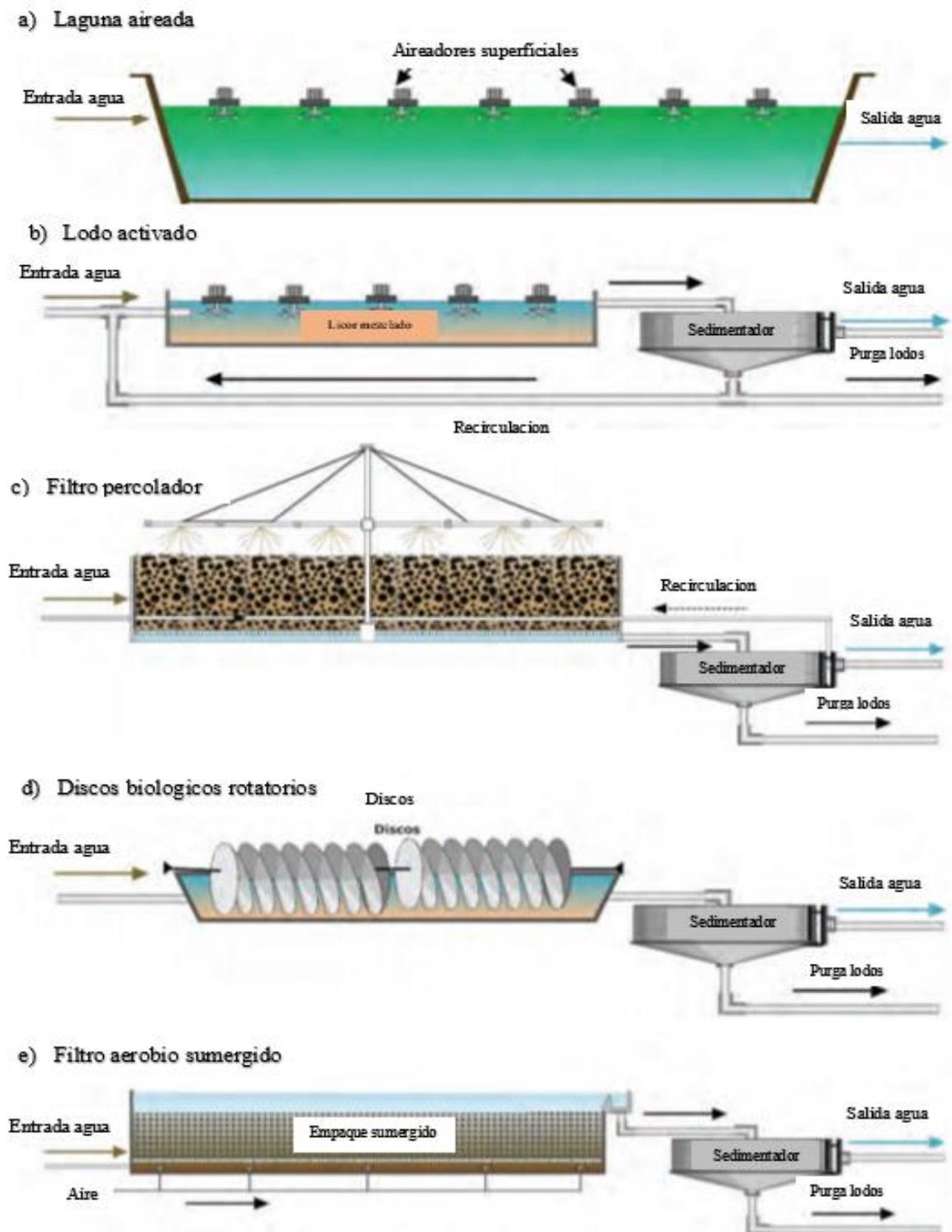


Figura 9. Procesos aerobios para el tratamiento de aguas residuales

Fuente: Aguilar *et al.* (2002)

1.1.5.2. Proceso de lodos activados

El tratamiento de aguas residuales por el modelo de lodos activados, consiste en airear el agua residual y al lodo activo, y este último está formado por biomasa microbiana que depura el agua residual y es estimulada por la aireación, concluida la aireación, el agua residual se somete a reposo para lograr sedimentar el lodo para recirculación o disposición (OS 090, 2006).

Es un sistema de depuración de residuos líquidos del tipo de crecimiento suspendido es el proceso de lodos activados, así como se aprecia en la figura 9. Después de una sedimentación primaria, las aguas residuales, que contienen diferentes compuestos orgánicos disueltos, luego son introducidos a un tanque de aireación, tal como aprecia la figura 10. La oxigenación se realiza por inyección de aire y/o por agitación mecánica. Los lodos activados sedimentados hacen que se incremente la actividad microbiana en altos niveles, de esa forma surge el nombre de proceso de lodos activados. Durante el periodo de almacenamiento de lodos activados dentro del tanque de aireación, tiene como contexto un desarrollo vigoroso de microorganismos heterótrofos. La naturaleza heterotrófica de las regiones templadas permite el desarrollo de diferentes poblaciones de bacterias heterotróficas. Predominan los bacilos gramnegativos, siendo los coliformes (*Escherichia*), *Enterobacter*, *pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* y *Zooglea*, los que se aíslan con más frecuencia, entre otras microbacterias y corineformes, como también los que desempeñan un papel secundario como los hongos y levaduras filamentosas que se encuentran en baja cantidad (Bartha & Altas, 2002).

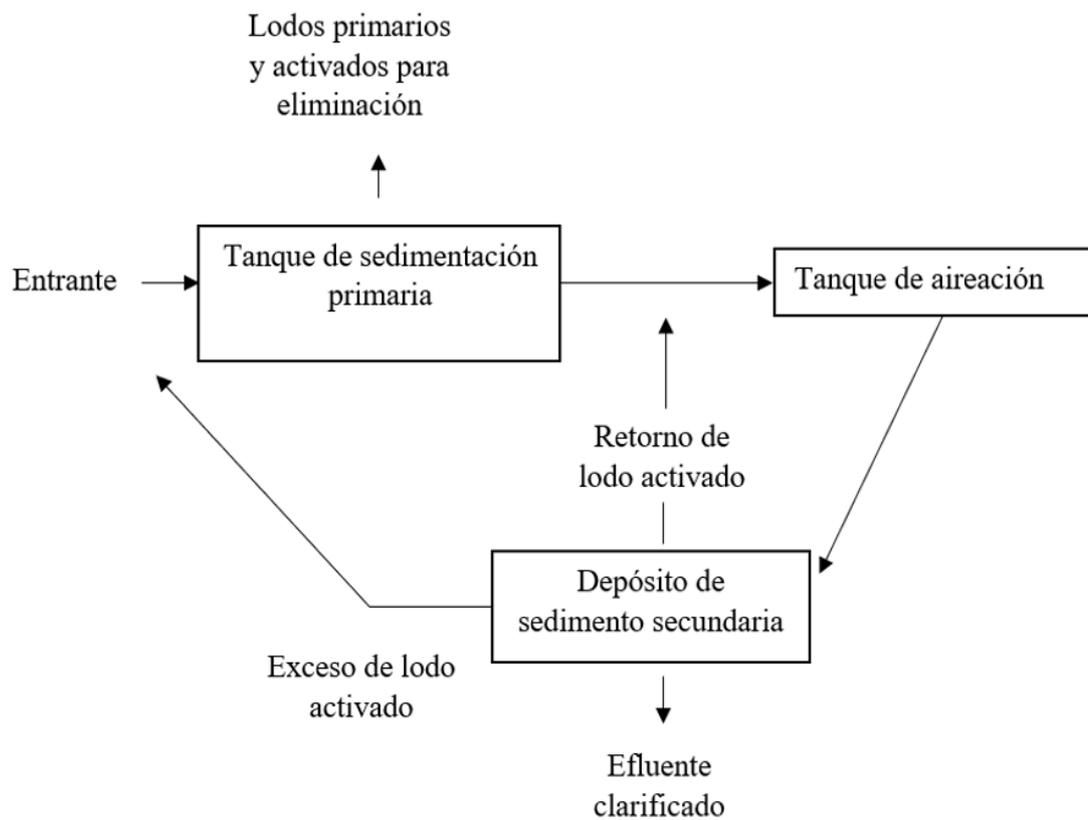


Figura 10. Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento secundario de aguas residuales de lodos activado

Fuente: Bartha & Altas (2002).



Figura 11. Estanque de aireación de una planta de depuración de aguas residuales de lodo activado.

Fuente: Bartha & Altas (2002).

El modelo lodos activados es y ha sido muy utilizado en el mundo para el tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. El modelo de lodos activados se diversifica en 13 variedades, siendo los más comunes el flujo pistón, de mezcla completa de media carga y el de aireación extendida. Una de las variedades con características particulares es el sistema discontinuo Batch (sequencing batch reactor, SBR) que ocurre en un solo tanque en sus diferentes etapas tales como: alimentación, reacción, sedimentación y vaciado, para ello se debe contar con equipos de aireación, mezcla y sedimentación. Y al implementar este modelo con alternativa de tratamiento de aguas residuales, se sugiere que debe contar con dos tanques en paralelo que funcionen de forma alternada. (Martinez & Rodriguez, 2005)

Por la misma composición de las aguas residuales, en ellas se encuentran suspendidas microorganismos y materia orgánica, al insuflar aire en el agua residual los microorganismos se multiplican y por la agitación provocada por la aireación, los microorganismos se agrupan, formando así el lodo activo. El lodo activado digiere la materia orgánica presente en las aguas residuales. La mezcla de lodo activado con el agua residual, es denominado “Licor mezclado”. El licor mezclado fluye del reservorio de aireación a un tanque de clarificación, donde el lodo activo precipita al fondo (Martinez & Rodriguez, 2005).

Para garantizar la degradación de materia orgánica presente en las aguas residuales, parte del lodo activo sedimentado debe ser recirculado al tanque de aireación, manteniéndose así una óptima relación sustrato – microorganismo. Una vez iniciada la aireación del agua residual en el tanque de aireación, se inicia la multiplicación de los microorganismos formando así el lodo activado; sin embargo, este puede incrementar considerablemente, por lo que una fracción debe ser eliminada a fin de mantener una concentración constante en el tanque de aireación. El sistema de lodos activados, la aireación debe ser adecuada, para ello se puede utilizar difusores de aire o aireadores mecánicos. En el tanque de aireación, la materia orgánica suspendida en el agua residual es distribuida completamente por aireación en la totalidad de volumen de agua residual, lográndose una homogeneidad (Figura 12). La concentración de

contaminantes en el reactor es, idealmente, la misma en todo el volumen del reactor y por lo tanto en su salida (Orozco, 2019).



Figura 12. Sistemas de lodos activados (depuradora de aguas residuales).

Fuente: (Martinez & Rodriguez, 2005)

Por su parte, en el reactor con flujo pistón la concentración de materia orgánica es función de su ubicación en el tanque, de longitud considerable en comparación con su profundidad y anchura.

Este tipo de reactor se puede concebir teóricamente como una sucesión infinita de tanques totalmente mezclados con volumen diferencial que le confieren una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes. El reactor con aireación extendida es similar a uno completamente mezclado excepto en el tiempo de retención hidráulica y celular que es mayor para permitir la digestión del lodo por medio de la respiración endógena. En estos sistemas, se prescinde del sedimentador primario, de forma que la totalidad de la materia orgánica es recibida en el tanque de aeración. La baja carga orgánica y el largo tiempo de residencia de lodos, características de esta variante, permiten alcanzar la estabilización del lodo, mediante un proceso similar al de la digestión aerobia, realizado en forma simultánea al consumo de la materia orgánica del influente. La ventaja de esta variante es que simplifica considerablemente el manejo de lodos, aspecto importante sobre todo en pequeñas plantas de tratamiento. La desventaja

inherente es que el costo por energía eléctrica es mayor por unidad de agua tratada en comparación con la variante convencional o completamente mezclada (Orozco, 2019).

Para optimizar el tratamiento de aguas residuales en un sistema de lodos activados, es posible acoplar biomasa fija, el mismo que consiste en poner dentro del tanque de aireación materiales pequeños conocidos como “empaque” (piezas de 1 a 2 cm de lado o diámetro) con una densidad semejante al agua, pudiendo ser del 30 al 40% del volumen del tanque. El empaque funciona como medio de soporte para la adhesión de los microorganismos, manteniéndose suspendidos en el agua residual por la aireación. El empaque concentra microorganismos en el agua residual mezclado, esto hace que el sistema absorba materia orgánica con facilidad, esta evidencia permite el diseño de tanques con volúmenes menores. Este sistema se le ha denominado reactor biológico de cama móvil o MBBR (Moving Bed Bio-Reactor) (Muñoz & Alvarez, 2018).

1.1.5.3. Filtros percoladores

Los filtros percoladores pueden ser uno de los componentes en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas. Los filtros percoladores son unidades de tratamiento biológico aerobio, los mismos que consisten por un medio adherido o asistido en el que se adhieren los microorganismos formando película biológica. El agua residual se filtra en el medio donde está adherido las bacterias y microorganismos, y estos degradan la materia orgánica. El medio filtrante puede ser de diferentes materiales, tales como: roca volcánica (Pómez), piedra triturada o plástico con configuraciones geométricas. Los materiales utilizados como medio filtrante, promueven maximizar la superficie de contacto en el que desarrolla la biomasa microbiana útil en el tratamiento. En el filtro suceden reacciones biológicas que consumen materia orgánica; es decir, los microbios se alimentan de materia orgánica presente en el agua residual entrante y son asimiladas, obteniéndose un efluente con materia orgánica reducida. Las aguas residuales que son tratadas en el filtro percolador deben ser tratadas en el tratamiento primario; es decir, eliminar los sólidos gruesos, arenas, aceites y grasas (ATDR, 2013).

El filtro percolador, es una infraestructura en la que está agregada material poroso del tamaño aproximado de un puño, y en esta superficie desarrollan microorganismos aeróbicos que reducen las concentraciones de materia orgánica y bacterias coliformes presentes en el agua residual doméstica. El agua residual ingresa por la parte superior a través de un aspersor de brazo giratorio, a partir del cual el agua se filtra lentamente por la columna del material poroso y acumulándose en el fondo. En la superficie del material poroso desarrolla un crecimiento bacteriano denso y viscoso. La comunidad microbiana heterogénea está conformada por bacterias, hongos, protozoos, nemátodos y rotíferos y es regenerada por *Zooglea ramigera* y otras bacterias (Mack *et al.*, 1975; Hawkes 1977 citado por Bartha & Atlas (2002)). La función de la comunidad microbiana es absorber y mineralizar los nutrientes orgánicos disueltos en las aguas residuales, principalmente reduciendo la DBO₅ del efluente. Por las características del material poroso y la disposición de ellas es que se garantiza una aireación constante. En el material poroso se establece una red trófica basada en biopelícula microbiana. Las larvas de moscas pueden consumir el exceso de biomasa microbiana generada; sin embargo, esto es molesto para los habitantes próximos a una planta de tratamiento de aguas residuales. Para evitar la situación descrita es recomendable la distribución ininterrumpida del agua residual en el filtro percolador, con los que se evita que las larvas de mosca puedan alimentarse de la biomasa microbiana expuesta (Sans & Ribas, 1989).

En el filtro percolador la aireación sucede por convección natural, es decir que, la masa de aire se calienta en el centro de la columna de material poroso y esta al ser menos densa sale hacia el aire y es sustituida por otra masa de aire fría, esto conlleva al no consumo de energía para aireación, por lo que estos sistemas pueden presentar eficiencias de remoción de contaminantes del orden del 70 a 85% en función de la carga aplicada (Figura 12). La sedimentación del efluente obtenido del filtro percolador clarifica aún más el agua filtrada y esta puede ser recirculada varias veces, o pasar por dos o más filtros. Por lo indicado el sistema es sencillo y barato; sin embargo, produce un exceso de fango microbiano, lo que limita las tasas de aireación y filtración, esto hace que requiera una renovación del material poroso. También las temperaturas de

invierno reducen considerablemente la eficacia de los sistemas que se encuentran al aire libre (Orozco, 2019).

El material poroso debe tener una alta relación área/volumen, inerte, resistente, durable y económico. El material poroso puede ser de piedra o sintéticos (con formas geométricas de plástico). Los filtros percoladores se operan con distintas cargas orgánicas y superficiales en función de la presencia o no de recirculación. La tasa de recirculación depende de la cantidad de agua tratada que se retorna a la entrada y de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor (Sans & Ribas, 1989).

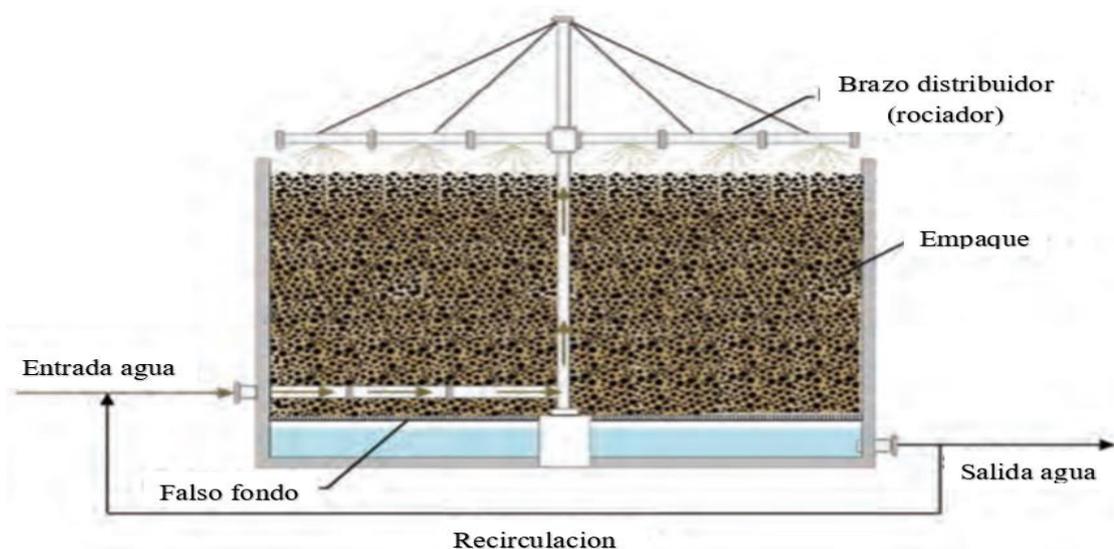


Figura 13. Esquema de un filtro percolador

Fuente: (Orozco, 2019).

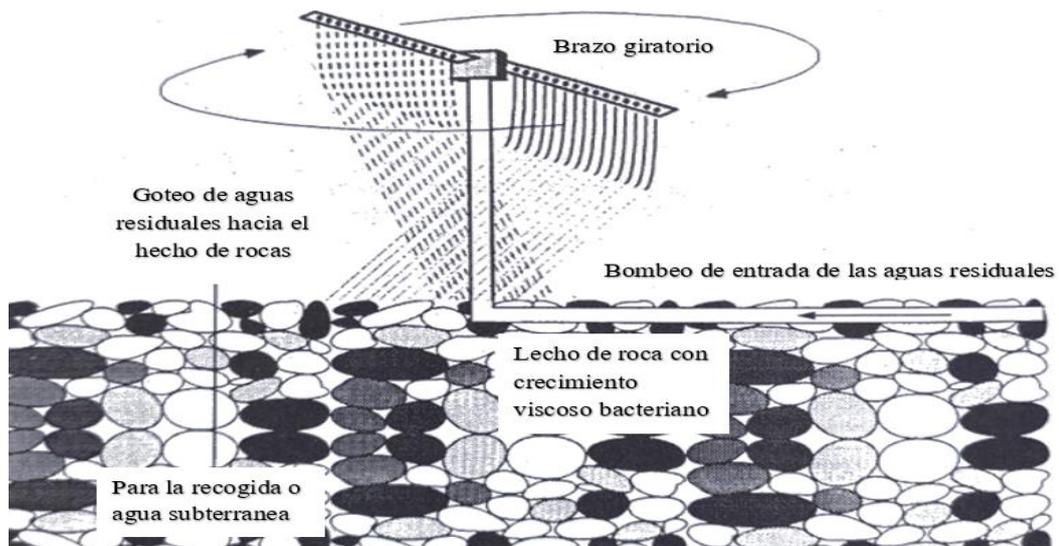


Figura 14. Corte ampliado muestra detalles de construcción de un filtro biológico

Fuente: Bartha & Atlas (2002)

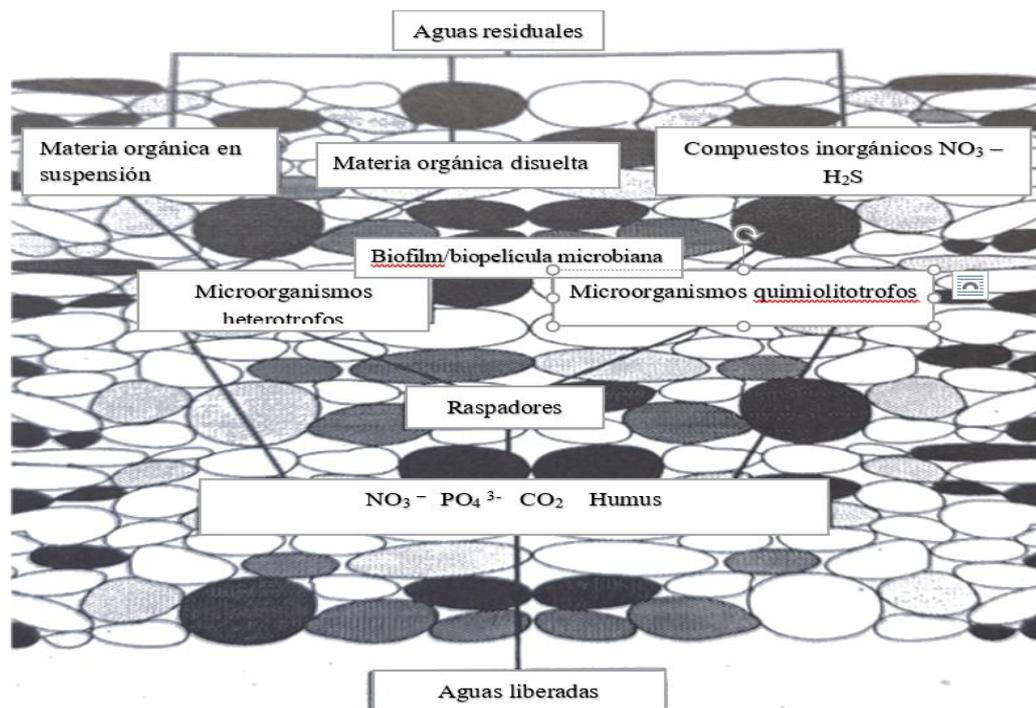


Figura 15. Sistema de filtro biológico, las aguas residuales se pulverizan a lo largo de un medio poroso

Fuente: Bartha & Atlas (2002).

1.2. Antecedentes

1.2.1. Eficiencia de lodos activado

Huamani (2020) en su evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados, encontrando los siguientes resultados promedio afluente DBO₅ 202.83 mg/l afluente DBO₅ 3.83 mg/l teniendo una eficiencia del 98%, así mismo los coliformes termotolerantes promedio del afluente fueron de 29166667 NMP/100 ml, efluente fueron de 57 NMP/100ml, teniendo una eficiencia de remoción del 100%, cumpliendo con los LMP D.S 003-2010-MINAM.

Acosta (2009) obtuvo una eficiencia del 80% de remoción y con un promedio de concentración de 41.31 mg/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en 16 muestras tomadas de las aguas residuales de la empresa láctea Huacariz S.R.L. de Cajamarca – Perú a través del tratamiento de lodos activados a escala de laboratorio; así mismo, esto indicaría que el parámetro analizado se encuentra dentro de la calidad de aguas residuales crudas establecida por la Norma OS.090 del RNE.

Bejarano & Escobar (2015) evaluaron la capacidad de remoción de materia orgánica del sistema de lodos activados en una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bogotá – Colombia, presentando una eficiencia del 79.8% de remoción de carga orgánica. La DQO en el afluente osciló entre 679 y 690 mg/l y en la salida oscilaron entre 139 y 468 mg/l.

Castillo & Cárdenas (2019) determinaron que el sistema de lodos activados en una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de distrito de San Miguel – Lima - Perú, presenta una capacidad de remoción del 98% de carga orgánica, presentando una concentración en el efluente de 920.40 mg/l de DBO₅ posterior al tratamiento presento una concentración en el afluente de 6.0 mg/l de DBO₅ lo que indica que los parámetros indicados cumplen con la normativa de Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ochoa (2016) en su investigación comparo la eficiencia de remoción de materia orgánica entre un reactor de lodos activados y un reactor anaeróbico de flujo ascendente donde caracterizó fisicoquímicamente el agua residual urbana encontrando los siguientes resultados que la máxima eficiencia de remoción de carga orgánica fue de 84,49% en el reactor de lodos activados en época de estiaje con un caudal de 0.15 l/h con tiempo de retención hidráulica de 40 horas, en el reactor UASB la máxima eficiencia de remoción de carga orgánica fue de 90.32%, en época de estiaje con un caudal de 0.25 l/h con tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Farfán (2015) determina que el 85% de carga orgánica son removidos en un sistema de lodos activados a escala piloto del distrito de Callao – Perú. Las concentraciones iniciales y finales de DBO₅ fueron de 630.4 a 291.9 mg/l, removiendo una concentración de carga orgánica de 338.5 mg/l, cumpliendo con límites máximos permisibles para plantas de tratamiento D.S. N° 003 – 2010 MINAM.

2.1.2. Eficiencia de filtros percoladores

Jaramillo & Paredes (2019) estableció que la carga orgánica de las aguas residuales domesticas en un sistema de dos filtros percoladores a escala piloto en 3 muestras puntuales, presentaron una capacidad de remoción del 98.12%,

Lanet (2018) obtuvo una eficiencia de 80 a 90% de capacidad de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por medio de filtros percoladores para aguas residuales domesticas de Panamá, presentado una concentración promedio en el afluente de 272.50 mg/l y el efluente de 196.70 mg/l de DBO₅, reduciendo 75.8 mg/l de carga orgánica.

Mendoza & Roca (2021) en su estudio los filtros percoladores a escala piloto de un centro de faenamiento de Calceta, tuvieron una remoción de DBO del 90.40% y DQO de 79.40 % y una eficiencia alta de carga orgánica.

Romero *et al.* (1998) obtuvieron una eficiencia de remoción del 87.4% de carga orgánica y DQO a través del tratamiento de filtros percoladores a escala piloto para aguas residuales de origen lácteo.

Muñoz & Reyes (2013) en su investigación obtuvieron una remoción de DQO y carga orgánica del 26 % al 41% en un promedio de 18 días en la Universidad América Puebla en la ciudad de México.

Juárez (2020) analizo la eficiencia de filtros percoladores de una planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Sandia – Puno, como resultado obtuvo una remoción promedio de DBO del 38, 96% y un promedio de 63.01% de DQO.

2.1.3. Eficiencia de lagunas facultativas

Quispe (2021) investigo la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca, en donde encontró los siguientes resultados para DBO₅ una concentración de 245.95 mgO₂/l en el afluente y 41.03 mgO₂/l en el efluente con eficiencias de reducción de la PTAR del 83.32 %; al igual que, para DQO una concentración de 495.13 mgO₂/l en el afluente y de 149.63 mgO₂/l en el efluente, con una eficiencia de reducción del 69.78 %.

Salazar (2021) evaluó la eficiencia de remoción de DBO₅ en lagunas facultativas de Cajamarca – Perú a escala piloto en función al tiempo y retención hidráulica en 3 reactores de vidrio en tiempos de 5, 6, y 7 días, de este modo se obtuvo que la retención hidráulica de 7 días fue más eficiente con una remoción de carga orgánica del 63.45%.

Quispe (2013) reportó una concentración de 410.87 mg/l de DBO₅, 1.60E+04 NMP/100ml y 9.12E+03 NMP/100ml de coliformes totales y fecales en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Azángaro Puno – Perú, aplicando el sistema de lagunas facultativas, las cargas orgánicas y patógenas fueron removidas en una concentración de 152 mg/l de DBO₅, 1.11E+04 NMP/100ml de coliformes totales y 5.90E+03 NMP/100ml de coliformes fecales. En consecuencia, se obtuvo 37.04% de remoción de DBO₅, 69.44% de coliformes totales y 63.59% de coliformes fecales.

Sánchez & Matsumoto (2012) analizo en una muestra compuesta la eficiencia de remoción de carga orgánica y patógena de las lagunas facultativas primarias de la

planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira –Brasil, donde se registró una remoción de 80.02% de DBO₅ cumpliendo con la normatividad ambiental brasilera.

Correa *et al.* (2012) realizaron un monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia donde encontraron los siguientes resultados en la laguna anaeróbica se obtuvo una temperatura promedio de 26,7 °C y en la laguna facultativas 28°C, aproximadamente. Con respecto al oxígeno disuelto se reportaron datos promedio en la superficie de las lagunas facultativas de 17,4 y 24,6 mg/L, los que disminuyeron con la profundidad y el tiempo. El promedio del potencial redox en la laguna anaeróbica fue de -235 mV, mientras que para las lagunas facultativas varió entre -24 y 69 mV. El promedio de pH en las lagunas facultativas fue de 7,5 en sus centros, variando en el tiempo y en el espacio, mientras que en la laguna anaeróbica fue de 7,0 variando muy poco con su profundidad. En general, en las dos lagunas facultativas, en las horas diurnas, se observó estratificación química. Se midieron valores importantes en la producción de clorofila “a” en las lagunas facultativas, con valores promedio de hasta 2.275 ug/L. Al analizarse la eficiencia del sistema se obtuvo una remoción en carga en DBO₅ soluble del 92%, considerándose una variación para laguna anaerobia entre el 50 y 70% y para las facultativas de 59 y 62%.

Sánchez *et al.* (2011) evaluó el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara de Cuba, resultando ser confiable y eficiente en un 90% en remoción de distintos parámetros como DBO, DQO, carga orgánica.

Matsumoto & Sánchez (2010) determinaron que el 78% de DBO₅ son removidos a través de lagunas facultativas de Iha Solteira - Brasil y con respecto a las concentraciones presento un promedio de reducción de 51 mg/l de DBO₅, próximo a la concentración máxima permisible de 60 mg/l recomendado por el Decreto 8464 de 1976 (Brasil).



Mejía (2008) evaluó el funcionamiento de las lagunas facultativas que presentaron deficiencias en su operación, demostrándose en los problemas hidráulicos, baja remoción de nutrientes disueltos, como resultado se tiene que el 75% de DBO₅ en aguas residuales son removidos aplicando el sistema de lagunas facultativas del Municipio de la Ceja, Antioquia – Colombia.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

Para el año 2014 en el Perú se generaban alrededor de 50 m³/s de aguas residuales, de los cuales solo el 14% recibían algún tipo de tratamiento no siempre bien efectuado y el 86% restante era descargado directamente al mar, lagos, ríos, cursos de agua menores sin tratamiento alguno, siendo en la mayoría de los casos utilizado en riego agrícola clandestino el que no cuenta con una autorización de las entidades competentes, en este caso los Ministerios de Salud y de Agricultura, Autoridades de Salud y de Aguas respectivamente (SUNASS, 2008).

El tratamiento de aguas residuales domésticas en función de su composición comprende etapas como tratamiento primario caracterizado por la aplicación de principios físicos y mecánicos para la eliminación de sólidos gruesos, arenas, y grasas; en el tratamiento secundario se desarrollan reacciones biológicas aeróbicas y anaeróbicas con la finalidad de remover las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes, y finalmente el tratamiento terciario desinfección.

Las aguas residuales domésticas principalmente contienen altas concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno o materia orgánica biodegradable y bacterias coliformes, y si estas son descargadas directamente a aguas superficiales, tales como, ríos y lagos, la demanda bioquímica de oxígeno agota las concentraciones de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor, lo que condiciona la muerte de fauna y flora, siendo esta la razón principal para

reducir las concentraciones de materia orgánica en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Entonces, en líneas generales el tratamiento de las aguas residuales depende principalmente de una serie de procesos biológicos, cuyo fin es lograr la depuración de las aguas residuales mediante la acción de microorganismos, que degradan y eliminan la materia orgánica, dependiendo de la presencia o ausencia del oxígeno, se define como proceso biológico aeróbico, a la acción de microorganismos cuyo metabolismo tiene lugar en presencia de oxígeno disuelto, teniéndose como productos finales principalmente CO_2 y H_2O , con desprendimiento de energía, en parte empleada en la formación de nuevos microorganismos, de gran importancia en este proceso para las reacciones de síntesis, con alto requerimiento de energía y alto rendimiento; entre tanto los procesos biológicos anaeróbicos, son realizados por microorganismos cuyo metabolismo se realiza en ausencia de oxígeno, pudiendo verse gravemente afectados por la presencia de este elemento obteniéndose CH_4 y CO_2 como productos finales, este proceso requiere baja energía y con un rendimiento moderado.

En la región de Puno, se evidencia la existencia de tres unidades de proceso: filtros percoladores en el distrito de José Domingo Choquehuanca, lagunas facultativas en el distrito de Pucará y lodos activados en la provincia de Yunguyo, procesos eminentemente aeróbicos, de los que no se sabe la eficiencia real, debido a que estos sistemas fueron implementados en un contexto diferente (principalmente la altitud), más aún con las modificaciones incluidas en el proceso constructivo.

2.2. Enunciados del problema

2.2.1. Problema general

¿Cómo es el comportamiento de las unidades de proceso en los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región Puno?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se encuentran las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno?

- ¿Cuál es la eficiencia de remoción de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados?
- ¿Cuál es la eficiencia de remoción de la carga patógena presente en aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados?

2.3 Justificación

La presente investigación se justifica por cuanto nos permitirá conocer la eficiencia de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados en condiciones propias del altiplano para optimizar y proponer el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales para la región de Puno.

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, el tratamiento primario y el terciario no son susceptibles a cambios significativos o esenciales, porque se caracterizan principalmente de principios físicos y químicos con fines ya establecidos; sin embargo, el tratamiento secundario sí está sujeta a elección dependiendo de su eficacia desarrollada en condiciones del altiplano. A partir de lo descrito, los resultados de la presente investigación nos permitirán aceptar o rechazar a las unidades de proceso más eficaces que no impliquen costos de operación altos y accesorios de mantenimiento, con lo que se garantizará la sostenibilidad del proyecto en el tiempo.

La elección de una unidad de proceso para los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas apropiadas y eficaces a las condiciones del altiplano, permitirán la aceptación y participación de la sociedad en la vida del proyecto, con lo cual se garantizará evitar los conflictos sociales a causa de contaminación del agua.

Finalmente, al contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en las que incluya unidades de proceso eficaces a condiciones del altiplano, sus efluentes tendrán bajas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales, y con ello se evitará la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de las unidades de proceso en los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región Puno.

2.4.2. Objetivos específicos

- Describir cómo se encuentran las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno.
- Determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de las aguas residuales domésticas en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.
- Determinar la remoción de carga patógena de las aguas residuales domésticas en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.

2.5. Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas presentan igual eficiencia de remoción de carga orgánica y patógena.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno no operan de acuerdo a los criterios de diseño establecidos.
- Las unidades de proceso: filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno presentes en las aguas residuales domésticas.



- Las unidades de proceso: filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de coliformes fecales presentes en las aguas residuales domésticas.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

3.1.1. Filtro percolador

El lugar de estudio es el distrito de José Domingo Choquehuanca de la provincia de Azángaro está ubicado a 1461 metros del centro de la ciudad del distrito donde se encuentra el filtro percolador mencionado. Como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Ubicación de los filtros percoladores del distrito de José Domingo Choquehuanca

Fuente: Google Earth (2017).

3.1.2. Lagunas facultativas

El lugar de estudio es el distrito de Pucará de la provincia de Lampa está ubicado a 896 metros del centro de la ciudad del distrito donde se encuentra la laguna facultativa mencionado. Como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Ubicación de las lagunas facultativas del distrito de Pucará

Fuente: Google Earth (2017).

3.1.3. Lodos activados

El lugar de estudio es la provincia de Yunguyo está ubicado a 2600 metros del centro de la ciudad de la provincia donde se encuentra el lodo activado mencionado. Como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Ubicación de los lodos activados de la provincia de Yunguyo

Fuente: Google Earth (2017).

3.1.4. Ubicación geográfica

Geográficamente los procesos de tratamiento de los diferentes distritos se detallan en la siguiente tabla según las coordenadas UTM 19L (WGS-84):

Tabla 1

Ubicación geográfica de los procesos de tratamiento existentes de la región de Puno

Unidad de proceso		Ubicación UTM		Altitud (m.s.n.m.)
Unidad	Localidad	Este	Norte	
Filtro percolador	Distrito de José Domingo Choquehuanca - provincia de Azángaro	354749	8337154	3870
Lagunas facultativas	Distrito de Pucará - provincia de Lampa	353741	8336352	3860
Lodos activados	Provincia de Yunguyo	488183	8202278	3847

3.1.5. Ubicación política

Las unidades de procesos, políticamente se encuentran ubicadas en la siguiente tabla 3.

Tabla 2

Ubicación política de las unidades de procesos de tratamiento existentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región de Puno

Unidad de Proceso	Región	Provincia	Distrito
Filtro percolador	Puno	Azángaro	José Domingo Choquehuanca
Lagunas facultativas	Puno	Lampa	Pucará
Lodos activados	Puno	Yunguyo	Yunguyo

3.2. Población

En el presente estudio la población está constituida por todas las unidades de proceso existentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la región de Puno.

3.3. Muestra

La presente investigación tiene como unidad de análisis u objeto de estudio, las unidades de proceso o tratamiento secundario de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la región Puno, entendiéndose como unidades de proceso al filtro percolador, laguna facultativa y lodos activados en los que se caracterizó y determinó las eficiencias de remoción de la carga orgánica y patógena.

Para ello, se realizó un muestro no probabilístico por conveniencia, en la que se identificó las unidades de proceso más representativos existentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región Puno, laguna facultativa: distrito de Pucará, filtro percolador: José Domingo Choquehuanca, lodos activados: provincia de Yunguyo.

En la región Puno, está generalizada las lagunas facultativas; las primeras unidades de filtros percoladores fueron implementadas en el distrito de José Domingo Choquehuanca, distrito

que cuenta con cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales, y en el año 2008 fue declarada como Municipio Ecoeficiente, razones por las que se considera como un referente para otras localidades en el manejo de aguas residuales. El sistema de lodos activados, recientemente en el año 2012 fue construida en la provincia de Yunguyo, siendo un sistema que requiere la insuflación de aire por compresoras, el cual se traduce en el alto costo económico para su operación y mantenimiento.

3.4. Método de investigación

El método con el que se desarrolló la presente investigación corresponde al hipotético deductivo, debido a que la actitud científica combinó la reflexión racional con la observación de la realidad; es decir, las eficiencias esperadas de las unidades de proceso dependieron de las características de las unidades de proceso con las que cuentan los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La presente investigación se encuentra enmarcada en el enfoque cuantitativo y es de alcance descriptivo.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1. Descripción de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno.

Para la descripción de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas se procedió utilizando una cámara fotográfica, cinta métrica y cuaderno de apuntes, a partir de los cuales se redactó las descripciones.

3.5.2. Determinación de la eficiencia de remoción de carga orgánica de las aguas residuales, en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.

Para la determinación de la eficiencia de remoción de carga orgánica de las aguas residuales, en las diferentes unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados; primeramente, se determinó la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, siguiendo el siguiente principio:

La demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 se basa en una prueba utilizada para determinar los requerimientos de oxígeno para degradar bioquímicamente la carga orgánica presentes en aguas residuales en incubación a $20^{\circ}C$ durante cinco días en oscuridad, experimentalmente requiere garantizar mientras dure el experimento la concentración suficiente de oxígeno disuelto a ser utilizado por los utilizado por los microorganismos.

Para la determinación del oxígeno disuelto en el presente estudio se utilizó el método de Winkler, el mismo que se fundamenta en el siguiente procedimiento:

En botellas de Winkler, se fijó el oxígeno, adicionando a la botella de DBO_5 que contiene la muestra, 2ml de sulfato manganoso con una pipeta graduada, cuidando que la punta de la misma penetre aproximadamente 0.5 cm en el seno del agua, luego se agregó 2ml del reactivo álcali-yoduro-azida, en la misma forma que el reactivo anterior, se tapó la botella de DBO_5 evitando la formación de burbujas y agitó vigorosamente y se dejó sedimentar el precipitado (al menos a la mitad del frasco); posteriormente se añadió 2ml de ácido sulfúrico concentrado, volvió a tapar y mezclar por inversión hasta completa disolución del precipitado, finalmente se tituló 100ml de la muestra con la disolución de tiosulfato de sodio 0.025 N agregando el almidón hacia el final de la titulación, cuando se alcance un color amarillo pálido.

3.5.3. Determinación de la eficiencia de remoción de carga patógena (coliformes fecales o termotolerantes) de las aguas residuales, en unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.

Para la determinación de la eficiencia de remoción de carga patógena de las aguas residuales, en las diferentes unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados; se determinó el número más probable de coliformes fecales, siguiendo el siguiente principio:

El método consta de tres etapas: prueba presuntiva, prueba confirmativa y prueba complementaria, la prueba presuntiva consiste en colocar volúmenes determinados de muestra en una serie de tubos conteniendo caldo lauril triptosa y son incubados a $35^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$ durante 24-48 horas, en la que se observa la fermentación de lactosa con

formación de gas. La formación de gas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24-48 horas, constituye una prueba presuntiva positiva para la presencia de bacterias del Grupo Coliforme. La prueba confirmativa consiste en transferir todos los tubos positivos de la prueba presuntiva a tubos contenidos caldo EC y son incubados durante 24-48 horas a $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en baño maría.

3.5.4. Determinación de la eficiencia de remoción de carga orgánica y patógena

Para la remoción de carga patógena y carga orgánica se empleó la fórmula:

$$E\% = \left(\frac{a - b}{a} \right) * 100$$

Donde:

a = concentraciones presentes en el afluente (que ingresan al sistema y/o proceso de tratamiento).

b = concentraciones presentes en el efluente (que ingresan al sistema y/o proceso de tratamiento)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la región de Puno.

Para un tratamiento eficaz de las aguas residuales domésticas, todo sistema debe contar con: tratamiento primario, secundario y terciario, el tratamiento primario tiene como finalidad acondicionar el agua residual a tratar en el tratamiento secundario, por ello, es muy importante que los sistemas de tratamiento de aguas residuales cuenten con unidades de operación en óptimas condiciones, siendo estos: la cámara de rejillas, desarenador, desengrasador. El tratamiento secundario se caracteriza por las reacciones biológicas de tipo aeróbicas y anaeróbicas, cuya finalidad es reducir la materia orgánica presente en las aguas residuales, en el presente estudio se evaluó el funcionamiento de filtros percoladores – distrito José Domingo Choquehuanca, lagunas facultativas – distrito de Pucara y lodos activados – provincia de Yunguyo. El tratamiento terciario cumple la función de desinfección del agua residual tratada.

4.1.1. Filtros percoladores – distrito José Domingo Choquehuanca

El sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito José Domingo Choquehuanca, son pre tratadas en la cámara de rejillas desarenador sedimentador y filtración de arena (característico de una planta de tratamiento de agua potable), el tratamiento secundario

es el filtro percolador con forma cuadrada en lugar de circular, para lograr una distribución uniforme y constante del agua residual tal como se observa en la figura 18.

Los filtros percoladores, son unidades aeróbicas, en general son cubos de concreto en el que están adicionadas piedras “pómez” de tamaños grandes de aproximadamente el tamaño de un puño, entre la disposición de las piedras se acondiciona espacios de aire (78% de nitrógeno y 21% de oxígeno), en las que se reemplaza el aire por convección para la oxidación de materia orgánica por la biomasa microbiana.

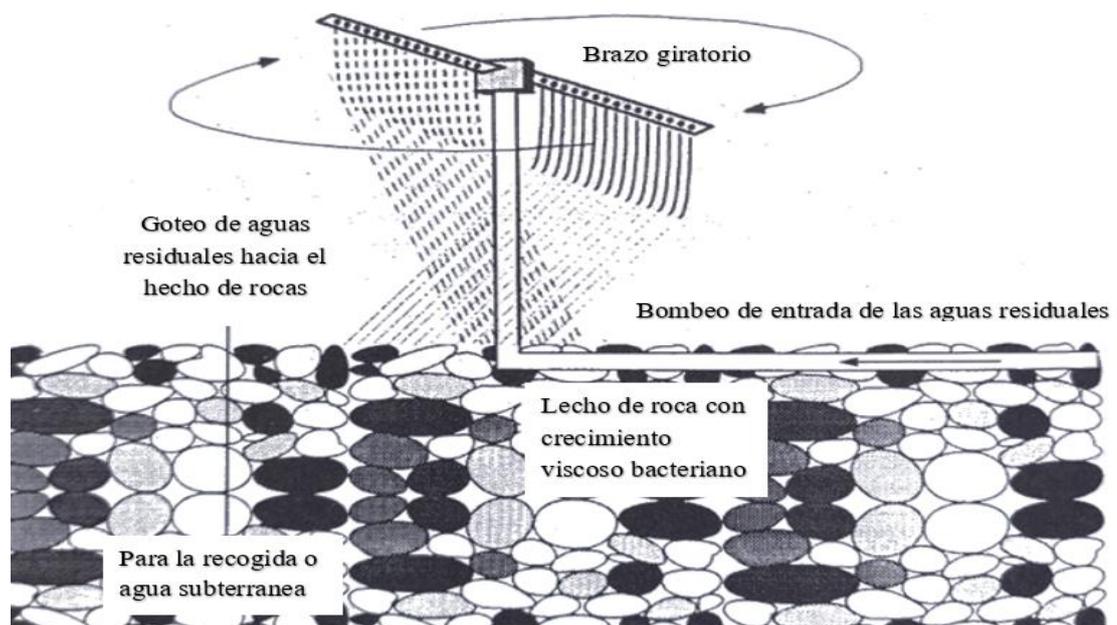


Figura 19. Distribución continua de las aguas residuales en el filtro percolador mediante brazo giratorio.

Fuente: Bartha & Atlas (2012)



Figura 20. Modelo existente de filtros percoladores

El actual modelo existente de filtro percolador no es eficiente ya que la distribución no es uniforme en todo el lecho, provocando así zonas muertas (zonas sin proceso microbiano) tal como se observa en la figura 19.



Figura 21. Planta de tratamiento de aguas residuales de José Domingo Choquehuanca

Filtro percolador de forma cuadrada, cubierta por un techo de calamina de color transparente de color amarillo, para la correcta degradación de la materia orgánica se

observó que se utiliza piedras porosas (piedras pómez), para la distribución de las aguas residuales se utiliza tuberías de PVC, en paralelo, dejando caer el agua residual sobre el filtro percolador tal como se muestra en la figura 20.



Figura 22. Vista del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de José Domingo Choquehuanca.

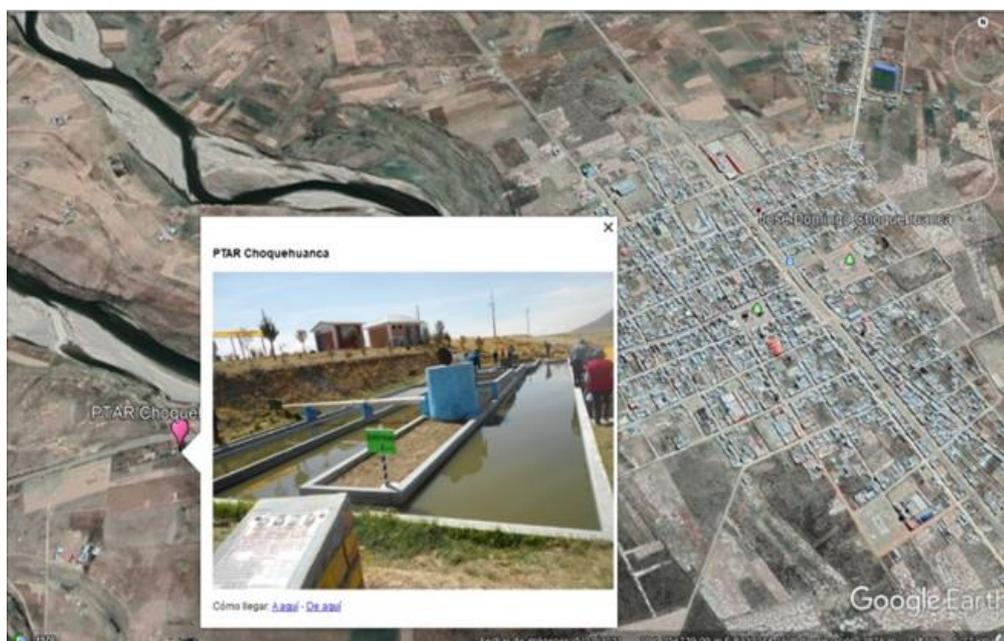


Figura 23. Vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de José Domingo Choquehuanca

4.1.2. Lagunas facultativas – distrito de Pucara

El distrito de Pucara cuenta con una la unidad de proceso de lagunas facultativas; sin embargo, este sistema carece de las unidades de operación como la cámara de rejillas, desarenador, desengrasador lo cual es determinante en la baja eficiencia de remoción principalmente para la demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes presentes en las aguas residuales domésticas. Las aguas residuales incluido las arenas, aceites y sólidos gruesos ingresan directamente a la laguna facultativa primaria, en la parcialmente se elimina los sólidos gruesos, arenas y grasas.



Figura 24. Vista de las lagunas facultativas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pucará

Las lagunas facultativas están acondicionadas en 2 series (de la laguna facultativa primaria pasa a la laguna facultativa secundaria), esta condición es para la remoción de lodos acumulados en tiempo. El efluente de la laguna facultativa secundaria directamente es descargado en el río Pucara, no realizándose el proceso de desinfección. Lo cual evidentemente presentará concentraciones altas de bacterias coliformes totales y fecales. Sin embargo, el efluente de la laguna facultativa secundaria tiene una coloración verdosa, el cual presenta microalgas. Las microalgas

incrementan oxígeno disuelto y este promueve el desarrollo bacteriano con lo cual se reduce la materia orgánica y bacterias coliformes.

Las lagunas facultativas primarias, dos secundarias, en forma paralela, lo cual en la actualidad se encuentran operativos solo una serie, mientras que la otra por falta de mantenimiento y unidades de pretratamiento no funcionan, cabe resaltar que el efluente de la laguna facultativa secundaria entra en contacto con la laguna facultativa secundaria de la otra serie. La falta de personal que opere las lagunas facultativas para el control y operación de la planta hace que el proceso no se desarrolle de manera eficaz, agregado a esto la antigüedad de las lagunas facultativas; sin embargo, la presencia de microalgas evidencia que las lagunas están desarrollando sus procesos de remoción de carga orgánica y patógena.



Figura 25. Lagunas facultativas del distrito de Pucara.

El dimensionamiento de las lagunas facultativas del distrito de Pucara es de largo 60 metros, ancho 30 metros, y profundidad 1.20 metros. Tal como se observa en la figura 19.



Figura 26. Vista satelital lagunas facultativas del distrito de Pucara – provincia de Lampa

La ventaja del tratamiento de aguas residuales domésticas por lagunas facultativas es su bajo costo, sencillez en la construcción y operación en relación al proceso de lodos activados; sin embargo, requiere considerables extensiones de área.

4.1.3. Lodos activados – provincia de Yunguyo

La unidad de proceso de lodos activados de la PTAR Yunguyo se caracteriza por la aireación de las aguas residuales pre tratadas en la cámara compacta. La cámara compacta elimina sólidos gruesos, arena y grasas mediante control automatizado. En el tanque de aireación el agua residual pre tratada es suministrada con aire, lo que promueve el desarrollo de microorganismos aeróbicos, condición que reduce la materia orgánica biodegradable y bacterias coliformes. La eliminación de bacterias coliformes se realiza por radiación ultravioleta.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Yunguyo es un sistema moderno en la región Puno, la alta automatización implica costos para funcionamiento y mantenimiento.

Cámara de rejas: tiene por función retener los sólidos de mayor dimensión como plásticas, tapas de botellas u otros objetos sólidos, que puedan perjudicar el tratamiento de las aguas residuales.



Figura 27. Cámara de rejas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

Sistema de cribas: tiene la finalidad de remover todos los objetos sólidos que no fueron separados en la cámara de rejas así como, arenas finas, grasas y demás objetos de menor tamaño.



Figura 28. Sistema de cribas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

4.1.4. Tratamiento secundario

Tecnología de lodos activados reactores biológicos (ICEAS), tiene por finalidad la reducción de la carga orgánica, a través del sistema de aireación, estos tanques cumplen la función de aireación, sedimentación y decantación.



Figura 29. Tecnología de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo.



Figura 30. Decantador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

4.1.5. Etapa de desinfección

En la etapa se emplea los rayos UV (radiación ultra violeta) para la desinfección de las aguas residuales, ello para reducir los agentes patógenos, antes de su descarga de las aguas residuales.



Figura 31. Desinfección de rayos UV de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

4.1.6. Línea de lodos

Espesador de lodos: tiene por función espesar los lodos con paleta gravitacionales para luego ser deshidratados.



Figura 32. Espesador de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

Digestor de lodos: tiene por función airear por medio de sopladores a los lodos.



Figura 33. Digestor de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo.



Figura 34. Bombas de tipo tornillo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo

Desidratador de lodos en donde se añade un polimero donde se dosifica en cantidades exactas, para luego ser eliminados como material no peligroso.



Figura 35. Centrífuga para lodos de la PTAR Yunguyo



Figura 36. Lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Yunguyo



Figura 37. Vista satelital de la planta de tratamientos de aguas residuales de la provincia de Yunguyo.

Fuente: Google Earth (2017).

Los lodos activados fueron promocionados como una tecnología moderna y única en la región de Puno; sin embargo, por ese mismo hecho, no se cuenta con evidencia

científica que optimice el proceso y permita certificar su eficiencia en condiciones propias del altiplano, algunos de los factores a revisar son el tiempo de retención hidráulica y tiempo de insuflación; cabe señalar que su operación y mantenimiento es limitada ya que el presupuesto destinado es insuficiente.



Figura 38. Tanques de aireación ICEAS

4.2. Eficiencia de remoción de carga orgánica presente en aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.

Conforme a la hipótesis planteada: “Las unidades de proceso: filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presentes en las aguas residuales domésticas” para tal efecto se determinaron las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), presentes en las aguas residuales, a partir de muestras del afluente (ingreso) y efluente (salida) de las unidades de proceso: filtros percoladores - distrito de José Domingo Choquehuanca, lagunas facultativas - distrito de Pucará y lodos activados - provincia de Yunguyo.

Tabla 3

Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas tratadas en unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno.

Unidad de proceso	Demanda Bioquímica de Oxígeno (Carga orgánica) (mg/l)											
	Junio -2015			Septiembre -2015			Diciembre - 2015			Marzo -2016		
	R %	I	S	R %	I	S	R %	I	S	R %	I	S
Filtro percolador	69	208	64	65	200	70	64	195	70	57	210	90
Laguna Facultativa Primaria	42	190	110	56	220	95	52	225	108	43	240	135
Laguna Facultativa Secundaria	45	110	60	54	95	43	53	108	50	59	135	56
Lodos activados	81	230	43	92	190	14	90	205	20	88	260	30

(R %): porcentaje de remoción, (I): concentración que ingresa, (S): concentración que sale.

De acuerdo a lo visto en la tabla 3, los valores de la demanda bioquímica de oxígeno o carga orgánica en los efluentes o salidas de las unidades de proceso, se encuentran por debajo de los establecido en los límites máximos permisibles (D.S. 003 – 2010 MINAM), que establece el valor de 100mg/l para dicho parámetro evaluado, lo que nos indica que las unidades de proceso: filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados cumplen con lo exigido en la norma. Es importante indicar, para el caso de las lagunas facultativas es en serie, es decir primero está la laguna facultativa primaria, cuyo efluente será tratado en la laguna facultativa secundaria.

Tabla 4

Promedio de las eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en relación al reglamento nacional de edificaciones en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno

Unidad de proceso	Remoción de carga orgánica			
	Remoción esperada (%) Reglamento Nacional de Edificaciones.	Promedio remoción obtenida (%).	Promedio DBO ₅ (mg/l) Ingres.	Promedio DBO ₅ (mg/l) sale.
Filtro percolador	50 – 90	64	203	74
Laguna Facultativa Primaria	70 – 85	49	219	112
Laguna Facultativa Secundaria	70 – 85	53	112	52
Lodos activados	70 – 95	88	221	27

La tabla 3 y figura 40, nos indica las eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en las unidades de proceso, siendo que los lodos activados presentan el valor del 88% de eficiencia, valor que se encuentra dentro del rango de 70 a 95% valores esperados establecidos en el reglamento nacional de edificaciones, por lo que se considera una unidad de proceso muy eficiente. Los filtros percoladores también son unidades de proceso, cuya eficiencia de remoción del 64% se encuentra dentro del rango de 50 a 90% establecido en el reglamento nacional de edificaciones. Sin embargo, las eficiencias de remoción de las lagunas facultativas primarias y secundarias con valores de 49 y 53% respectivamente, se ubican muy por debajo de lo exigido en el reglamento nacional de edificaciones, de 70 a 85%, resultados que se pueden atribuir a la carencia de las unidades de cámara de rejillas, desengrasador, y desarenador con los que se adecuaría las aguas residuales a tratar en las lagunas facultativas.

En la tabla 4 y figura 39, se puede apreciar los valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno en la salida de las unidades de proceso, siendo para los filtros percoladores 74 mg/l, lagunas facultativas primarias 112 mg/l, lagunas facultativas secundarias 52 mg/l, y

para lodos activados 27mg/l valores que se encuentran por debajo del valor de 100 mg/l establecido en los límites máximos permisibles (D.S. 003 – 2010 MINAM) como concentración en el efluente de las PTARs.

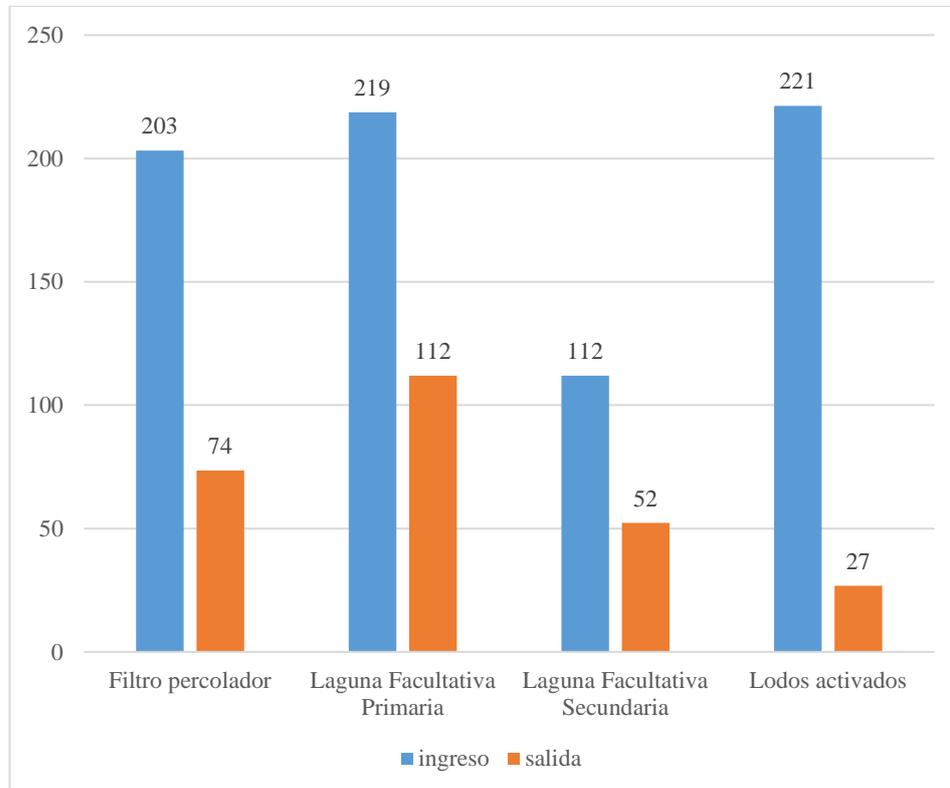


Figura 39. Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas y/o municipales en el ingreso y salida de las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno.

En la figura 39, se aprecia que la unidad de proceso lodos activados tienen mayor capacidad de remoción de la materia orgánica o demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 , porque en promedio ingresan 221mg/l y salen 27mg/l, siguiendo los filtros percoladores que reducen de 203mg/l a 74mg/l en promedio; entre tanto las lagunas facultativas tanto primaria y secundaria juntas tienen la capacidad de remover la demanda bioquímica de oxígeno de un valor de 219mg/l a 52mg/l en promedio.

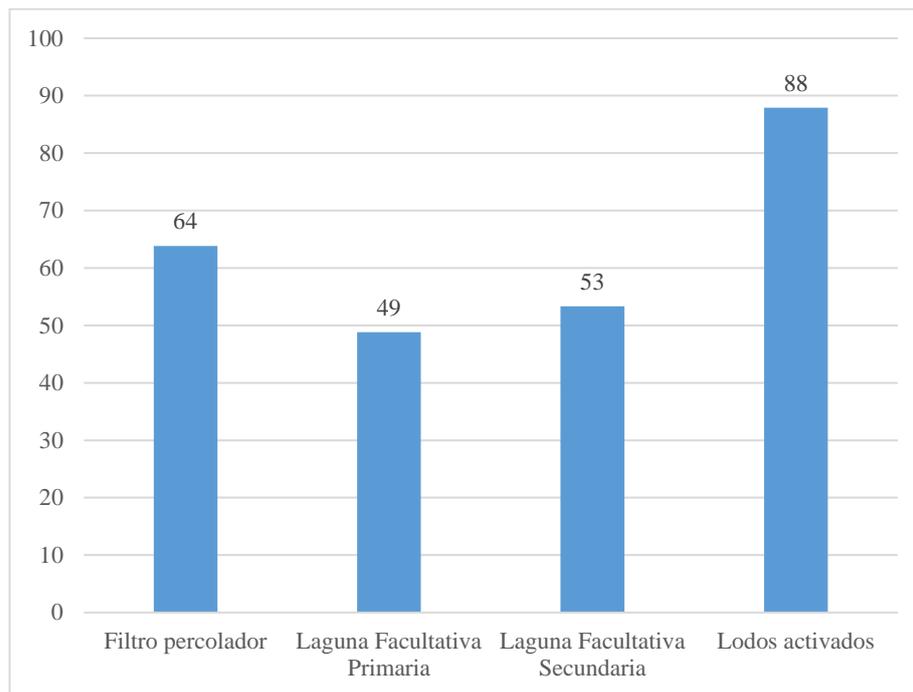


Figura 40. Promedio de eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presente en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno.

Teniéndose en cuenta que, la aguas residuales domésticas son tratadas en diferentes unidades de proceso y que se encuentran en el altiplano, es decir, que se encuentran en condiciones similares respecto a presión parcial de oxígeno, radiación solar y altitud; y más allá de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) que puedan presentar las aguas residuales domésticas tratadas, un indicador común para las unidades de proceso estudiadas es la eficiencia de remoción (expresada en porcentaje), razón por la cual para la confirmación o rechazo de las hipótesis, se organizó las eficiencias de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno, tal como detalla la tabla 5.

Tabla 5

Eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno observadas en las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados.

Observaciones	Eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno			
	Filtro percolador	Laguna facultativa primaria	Laguna facultativa secundaria	Lodos activados
1	69	42	45	81
2	65	56	54	92
3	64	52	53	90
4	57	43	59	88

Tal como detalla la tabla 5 en la que se aprecia las eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) obtenidas en las diferentes unidades de proceso, lo cual nos evidencia que nos encontramos en experimento con diferentes tratamientos y sus réplicas, a partir de ello se realizó el análisis con un diseño completo al azar.

Siendo las hipótesis a ser analizadas:

H₀: las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

H_a: las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan diferente porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Realizados los cálculos.

Tabla 6

Promedio y varianza de los porcentajes de remoción de demanda bioquímica de oxígeno presentes en aguas residuales en las unidades de proceso

Tratamientos	Repeticiones	Suma	Promedio	Varianza
Filtro percolador	4	255	63.75	24.9166667
Laguna facultativa primaria	4	193	48.25	46.9166667
Laguna facultativa secundaria	4	211	52.75	33.5833333
Lodos activados	4	351	87.75	22.9166667

Tabla 7

Análisis de varianza para la remoción de demanda bioquímica de oxígeno en las unidades de proceso filtro percolador, laguna facultativa primaria, laguna facultativa secundaria, y lodos activados

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada	P
Tratamientos	3	3742.75	1247.5833	38.885714	3.4902948	1.852E-06
Error dentro de los tratamientos	12	385	32.083333	3	2	
Total	15	4127.75				

Y teniendo en cuenta la regla de decisión, para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y siendo que:

La $F_{\text{calculada}} >$ que la F_{tabulada} y $P < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

H_a : las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan diferente porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Al confirmar la hipótesis alterna, evidencia que las eficiencias de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno están influenciadas por la carencia de unidades de pretratamiento para el caso de las lagunas facultativas, y la modificación en la distribución del agua residual en los filtros percoladores, agregado a esto la falta de mantenimiento y operación adecuada de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la región de Puno.

4.3. Eficiencia de remoción de carga patógena presente en las aguas residuales domésticas por las unidades de proceso: filtros percoladores, lagunas facultativas y lodos activados.

Conforme a las hipótesis planteadas “Las unidades de proceso: filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de carga patógena presente en las aguas residuales domésticas” para tal efecto se determinaron los valores de los coliformes fecales o termotolerantes por la técnica de los tubos múltiples del número más probable, presentes en las aguas residuales, a partir de muestras del afluente (ingreso) y efluente (salida) de las unidades de proceso: filtros percoladores - distrito de José Domingo Choquehuanca, lagunas facultativas - distrito de Pucará y lodos activados - provincia de Yunguyo.

Tabla 8

Eficiencia de remoción de la carga patógena o coliformes fecales presente en aguas residuales domésticas tratadas en unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno

Unidad de proceso	Coliformes fecales o termotolerantes (carga patógena) (NMP/100ml)											
	Junio -15			Septiembre -15			Diciembre - 15			Marzo - 16		
	R %	I	S	R	I	S	R %	I	S	R %	I	S
Filtro Percolador	99.99	1.90E+07	2.10E+03	73.33	9.00E+06	2.40E+06	97.20	5.00E+06	1.40E+05	96.00	7.00E+06	2.80E+05
Laguna Facultativa Primaria	96.36	2.20E+07	8.00E+05	91.25	8.00E+06	7.00E+05	98.40	5.00E+07	8.00E+05	99.13	8.00E+06	7.00E+04
Laguna Facultativa Secundaria	99.13	8.00E+05	7.00E+03	98.43	7.00E+05	1.10E+04	97.25	8.00E+05	2.20E+04	98.00	7.00E+04	1.40E+03
Lodos activados	98.79	1.90E+07	2.30E+05	98.71	1.70E+07	2.20E+05	97.06	1.70E+07	5.00E+05	99.38	8.00E+07	5.00E+05

(R %): porcentaje de remoción, (I): concentración que ingresa, (S): concentración que sale.

Tabla 9

Promedio de las eficiencias de remoción de coliformes fecales o termo tolerantes presente en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en relación al reglamento nacional de edificaciones en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno

Unidad de proceso	Remoción de carga patógena o coliformes fecales o termotolerantes			
	Remoción (%) R. N. E.	Promedio remoción (%)	Promedio (NMP/100ml) Ingres.	Promedio (NMP/100ml) Sale.
Filtro percolador	99	92.94	1.00E+07	7.06E+05
Laguna Facultativa Primaria	99	97.31	2.20E+07	5.93E+05
Laguna Facultativa Secundaria	99	98.25	5.93E+05	1.04E+04
Lodos activados	99	98.91	3.33E+07	3.63E+05

La tabla 5 y figura 42, nos indica el promedio de las eficiencias de remoción de los coliformes fecales o termotolerantes en las unidades de proceso, siendo así que los lodos activados presentan una eficiencia del 98.91%, valor igual al esperado (99%) en el reglamento nacional de edificaciones. Los filtros percoladores presentan una eficiencia de remoción del 92% cercano a lo exigido por el reglamento nacional de edificaciones. Las lagunas facultativas primarias y secundarias tienen eficiencias de remoción del 97.31% y 98.25% respectivamente.

En la tabla 6 y figura 41, se puede apreciar los valores promedio de los coliformes fecales o termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas y/o municipales a la salida de las unidades de proceso, siendo para los filtros percoladores 7.06E+05, lagunas facultativas primarias 5.93E+05, lagunas facultativas secundarias 1.04E+04, y para lodos activados 3.63E+05 concentraciones que serán removidas en 99% por proceso de desinfección.

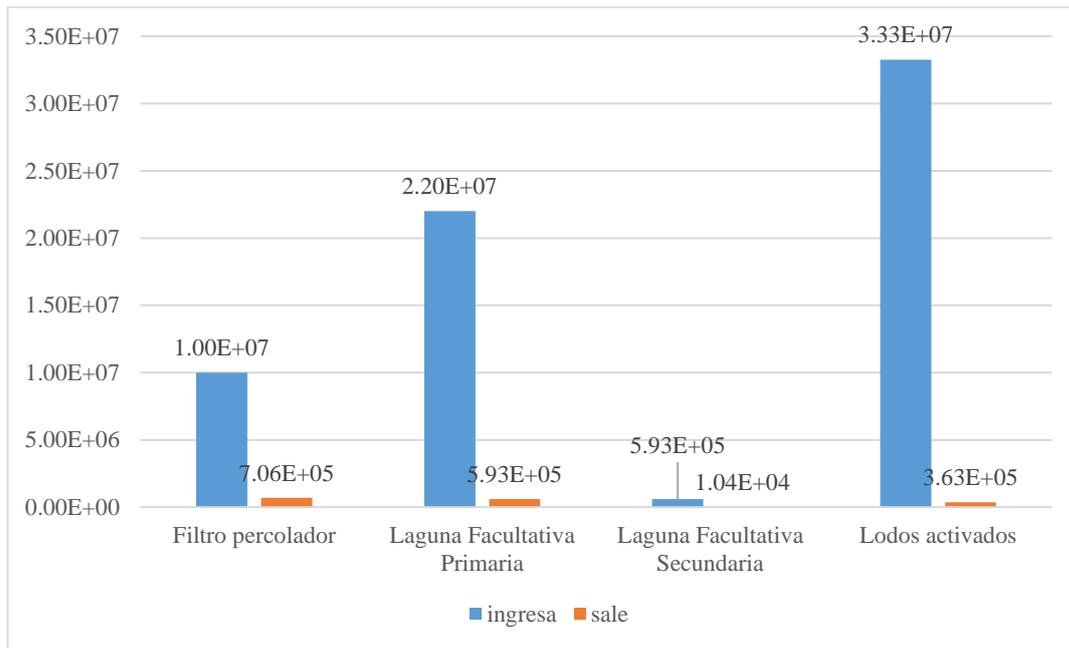


Figura 41. Promedio de coliformes fecales presentes en aguas residuales domésticas y/o municipales en el ingreso y salida de las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno

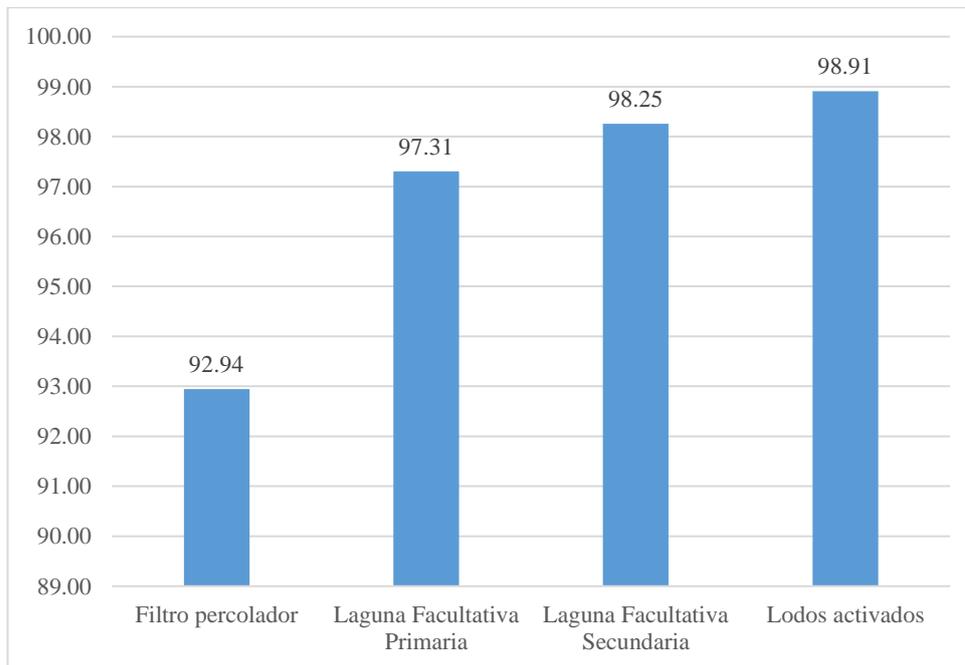


Figura 42. Promedio de eficiencias de remoción de coliformes fecales presentes en aguas residuales domésticas en las unidades de proceso, en el periodo junio 2015 a marzo del 2016, región Puno

Teniéndose en cuenta que, la aguas residuales domésticas son tratadas en diferentes unidades de proceso y que se encuentran en el altiplano, es decir, que se encuentran en condiciones similares respecto a presión parcial de oxígeno, radiación solar y altitud; y más allá de las concentraciones de la coliformes fecales que puedan presentar las aguas residuales domésticas tratadas, un indicador común para las unidades de proceso estudiadas es la eficiencia de remoción (expresada en porcentaje), razón por la cual para la confirmación o rechazo de las hipótesis, se organizó las eficiencias de remoción para coliformes fecales, tal como detalla la tabla 10.

Tabla 10

Eficiencias de remoción de coliformes fecales observadas en las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados

Observaciones	Eficiencias de remoción de coliformes fecales (%)			
	Filtro percolador	Laguna facultativa primaria	Laguna facultativa secundaria	Lodos activados
1	99.99	96.36	99.13	98.79
2	73.33	91.25	98.43	98.71
3	97.20	98.4	97.25	97.06
4	96	99.13	98.00	98.38

Tal como detalla la tabla 10, en la que se aprecia las eficiencias de remoción de coliformes fecales obtenidas en las diferentes unidades de proceso, lo cual nos evidencia que nos encontramos en experimento con diferentes tratamientos y sus réplicas, a partir de ello se realizó el análisis con un diseño completo al azar.

Siendo las hipótesis a ser analizadas:

H₀: las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de coliformes fecales.

H_a: las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan diferente porcentaje de remoción de coliformes fecales.

Tabla 11

Promedio y varianza de los porcentajes de remoción de coliformes fecales presentes en aguas residuales en las unidades de proceso

Tratamientos	Repeticiones	Suma	Promedio	Varianza
Filtro percolador	4	366.52	91.63	151.6338
Laguna facultativa primaria	4	385.14	96.285	12.6413667
Laguna facultativa secundaria	4	392.81	98.2025	0.62009167
Lodos activados	4	393.94	98.485	0.99176667

Tabla 12

Análisis de varianza para la remoción de coliformes fecales en las unidades de proceso filtro percolador, laguna facultativa primaria, laguna facultativa secundaria, y lodos activados

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada	P
Tratamientos	3	120.454419	40.1514729	0.96816428	3.49029484	0.43956649
Error dentro de los tratamientos	12	497.661075	41.4717563			
Total	15	618.115494				

Y teniendo en cuenta la regla de decisión, para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y siendo que la $F_{\text{calculada}} <$ que la F_{tabulada} y $P > 0.05$ se acepta la hipótesis nula.

H_0 : las unidades de proceso filtro percolador, lagunas facultativas y lodos activados presentan igual porcentaje de remoción de coliformes fecales.

Al confirmar la hipótesis nula, evidencia que las eficiencias de remoción para coliformes fecales son iguales, ello indica confirma que las bacterias coliformes presentan porcentaje de remoción de coliformes iguales.

DISCUSIÓN

Los filtros percoladores del distrito de José Domingo Choquehuanca presenta una remoción de carga orgánica del 64%, porcentaje muy inferior al 98.12% reportado por Jaramillo & Paredes (2019) en un sistema de dos filtros percoladores a escala piloto, y al rango del 80 a 90% reportado por Lanet (2018) para filtros percoladores para aguas residuales domésticas de Panamá. El porcentaje alto de remoción evidenciado en el caso de la escala piloto se debe se puede atribuir al adecuado pre tratamiento; mientras que tener un porcentaje en el rango del 80 a 90%, esto se debería a que el filtro percolador tiene una forma circular y agregación de agua de forma continua, lo cual lo sucede en el filtro percolador del distrito de José Domingo Choquehuanca.

El bajo porcentaje (51%) de remoción de carga orgánica evidenciado en el presente estudio en la laguna facultativa del distrito de Pucara, se atribuye principalmente a la carencia de las unidades de pretratamiento de las aguas residuales, porque estas unidades de proceso en otros contextos como Brasil presentan porcentajes elevados como un 78% tal como lo refiere Matsumoto & Sánchez (2010), Sánchez & Matsumoto (2012), y de similar resultado con un 75% para las lagunas facultativas de municipio de Ceja Antioquia – Colombia en las que también se evidenciaron deficiencias en la operación tal como lo reporta Mejía (2008).

Los lodos activados de la provincia de Yunguyo presentaron una eficiencia del 88%, porcentaje superior en 8 unidades a los valores reportados por Bejarano & Escobar (2015) en Colombia para el mismo sistema y en modelo a escala piloto como lo reportado por Acosta (2009). La presión parcial de oxígeno puede ser determinante para obtener un 98% reportado por Castillo & Cárdenas (2019) para ciudad de Lima, entre tanto en un modelo piloto indica una remoción del 85% reportado por Farfán (2015).



CONCLUSIONES

- Primera.** - Las unidades de proceso filtros percoladores, y lodos activados cumplen con el adecuado acondicionamiento de las aguas residuales en relación a las lagunas facultativas.
- Segunda.** - La eficiencia de remoción promedio para la demanda bioquímica de oxígeno en las unidades de proceso filtros percoladores es de 64%, lodos activados es de 88%, lagunas facultativas primarias 49% y lagunas facultativas secundarias 59%.
- Tercera.** - La eficiencia de remoción promedio para coliforme fecales por las unidades de proceso para filtros percoladores es de 92.94%, laguna facultativa primaria 97.31%, laguna facultativa secundaria 98.25% y lodos activados 98.91%.

RECOMENDACIONES

- Primera.** - Promover la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales con unidades de proceso de filtros percoladores y lagunas facultativas por su facilidad de operación y bajo costo de tratamiento.
- Segunda.** - Promover la responsabilidad social en el tratamiento de las aguas residuales domésticas y/o municipales mediante diversas estrategias a fin de implementar las unidades de proceso de lodos activados, por requerir un alto costo de tratamiento y personal altamente calificado.
- Tercera.** - Implementar con laboratorios y personal calificado para el monitoreo continuo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales.
- Cuarto.** - Exigir la caracterización de las aguas residuales domésticas y/o municipales, antes de realizar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la región Puno.
- Quinta.** - Promover la investigación en las universidades de la región de Puno a fin de optimizar las unidades de proceso para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y/o municipales.
- Sexta.** - Promover la capacitación técnica para la operación y mantenimiento, en el personal que labora en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, S. L. (2009). Eficiencia de un sistema de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea de Cajamarca. *Universidad nacional de trujillo, escuela de postgrado programa doctoral en ciencias e ingeniería*, 96. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8168>
- Aguilar, M., Saez, J. L., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales- coagulación- floculación. España: Universidad de Murcia. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=disposicion+de+lodos+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiA8OLP3r74AhWWBLkGHWT3BvYQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q&f=false>
- ANA, A. N. (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Calle Mochicas 136 Independencia – Lima: CREACOLOR SAC. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/guia-para-la-determinacion-de-la-zona-de-mezcla-y-la-evaluacion-del-impacto-del>
- ATDR, E. d. (2013). Tratamiento y reuso de aguas residuales. Tacna: <file:///C:/Users/acer/Downloads/153.pdf>.
- Autoridad Nacional del Agua, A. (2017). En Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua. Urb. El Palomar - San Isidro, Lima. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/guia-para-la-determinacion-de-la-zona-de-mezcla-y-la-evaluacion-del-impacto-del>
- Barrera, L., Díaz, A., López, E., Medina, E., Rivera, M., & Vallester, E. (2018). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. Campus Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá, 7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/330453642_Evaluacion_del_desempeno_del_filtro_biologico_de_la_Universidad_Tecnologica_de_Panama

- Bartha, R., & Altas, R. M. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid - España: Pearson Addison Wesley. Obtenido de <https://pearson.es/espa%C3%B1a/TiendaOnline/es-ebook-9788478291106>
- Bejarano, N. M., & Escobar, C. M. (2015). *Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual*. Universidad de la salle, Facultad de Ingeniería de Bogotá, 100. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1298&context=ing_ambiental_sanitaria
- Castillo, M. R., & Cárdenas, M. J. (2019). “Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos activados en el tratamiento de agua residual domestica del distrito de San Miguel”. Universidad nacional del callao, facultad de ingeniería química, 150. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/4560>
- CMAS. (2018). *Descripcion e procesos del tratamiento de aguas residuales en las plantas de tratamiento I y II*. Veracruz: XALAPA. Obtenido de <https://cmasxalapa.gob.mx/gom/wp-content/uploads/2018/11/DESCRIPCION-del-proceso-del-tratamiento-de-aguas-residuales..pdf>
- Comision Nacional de Agua. (2007). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento*. Mexico. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGU~2_0.PDF
- Farfan, R. M. (2015). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domesticas para el riego de áreas verdes en el sistema de lodos activados de la planta piloto de la FIARN-UNAC*. Universidad nacional del callao, facultad de ingenieria ambiental y de Recursos Naturales, 89. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1481>
- Fidencio, I. H., & Diaz, M. d. (2002). *Nuevos estudios sobre agua y medio ambiente en Juarez: Diseño de lagunas de estabilizacion para el tratamineto de agaus residuales en el norte de Mexico*. Mexico: Universidad Autonoma de Ciudad Juarez. Obtenido

de

https://books.google.com.pe/books?id=8PQoAQAAIAAJ&q=sistema+de+lagunas&dq=sistema+de+lagunas&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y

Flores, T. V., & Vargas, A. K. (2014). Moroflogia Bacteriana. Revista de actualizacion clinica, 6. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682014001000002&lng=en&nrm=iso

Jaramillo, M. A., & Paredes, T. J. (2019). “Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales, 2018”. Universidad peruana unión, Facultad De Ingeniería Y Arquitectura, 95. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1832>

Juarez, M. E. (2020). Remoción De La Carga Orgánica Y Patógena De Las Aguas Residuales Domésticas En Los Filtros Percoladores Ubicados En Zona Ceja De Montaña -Sandia 2019. Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez, Juliaca. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_b75ad0c28a8ba75b96d582963f6a6908

Lopez, V. C., Buitron, M. G., Garcia, H., & Cervantes, C. F. (2017). tratamiento biologico de aguas residuales. EEUU: publishing.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). Brock biología de los microorganismos. España: Person Educación, S.A. Obtenido de <https://pearson.es/espa%C3%B1a/TiendaOnline/brock-biolog%C3%ADa-de-los-microorganismos>

Martin, C. S., & Lopez, d. P. (2015). Depuracion de aguas residuales. españa: ELEARNING.

Martinez, D. S., & Rodriguez, R. M. (2005). Tratamiento de aguas residuales con MATLAB. Mexico: REVERTE. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=-1NxMzYv9-UC&pg=PA157&dq=lodos+activados&hl=es->

419&sa=X&ved=2ahUKEwjRqbib5b74AhVVuJUCHW71DJcQ6AF6BAgKEAI#v=onepage&q=lodos%20activados&f=false

Matsumoto, T., & Sánchez, O. I. (2010). Eficiencia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública. *Revista centro de estudios en salud*, 15. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-34612012000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Mejía, R. R. (2008). Evaluación del proceso y la eficiencia de remoción de la materia orgánica en las lagunas de estabilización del municipio de la Ceja, Antioquia, Colombia. *gestión y ambiente*, 18. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13976>

Mendoza, O. K., & Roca, M. J. (2021). Evaluacion de filtro percolador a escala piloto para la remocion de carga organica del efluente residual del centro de faenamiento, Calceta- Bolivar. *ESPAMMFL*. Escuela Superior Politecnica, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1441>

Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: Impresos y Revistas S. A. Obtenido de https://www.academia.edu/45529169/Ingenieria_de_aguas_residuales_tratamiento_vertido_y_reutilizacion_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie

Muñoz, A. V., & Alvarez, R. J. (2018). *Bases de la ingeniería ambiental*. Madrid: UNED. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=9ruGDwAAQBAJ&pg=PT326&dq=FILTROS+PERCOLADORES&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjcoKqQ5774AhWWBLkGHWT3BvY4ChDoAXoECA sQAg#v=onepage&q=FILTROS%20PERCOLADORES&f=false>

Muñoz, S. T., & Reyes, M. R. (2013). Evaluacion de la eficiencia de remocion de materia organica y nitrogeno en un filtro percolador con nuevo empaque. *Ingeniería*



- Ambiental. Revista mexicana de Ingeniería Química, Mexico. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v12n3/v12n3a19.pdf>
- MVCS, M. D. (2006). Reglamento nacional de edificaciones, DECRETO SUPREMO N° 011-2006 - VIVIENDA, Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas. LIMA - PERÚ. Obtenido de <https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/Decreto-Supremo-011.pdf>
- Noriega, P. R. (1999). Manual de tratamiento de aguas residuales. Lima - Perú: Diagramación e impresión en los talleres de la imprenta del ejército.
- Norma IS 020. (2006). Reglamento nacional de edificaciones, ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Lima - Perú. Obtenido de <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Norma OS 090. (2006). Reglamento nacional de edificaciones, ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Lima - Perú. Obtenido de <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Guereca, L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: Instituto de Ingeniería, Universidad nacional autónoma de México. Obtenido de <https://aidisnet.org/iunam-seleccion-tec-trat-aguas-residuales/>
- OPS, O. P. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima: UNATSABAR. Obtenido de <https://studylib.es/doc/1208342/gu%C3%ADa-para-el-dise%C3%B1o-de-desarenadores-y-sedimentadores-lim...>
- Orozco, J. A. (2019). Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño. España: ACODAL. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=t5w5EZf1VhMC&pg=PA457&dq=lodos+activados&hl=es->

419&sa=X&ved=2ahUKEwjRqbib5b74AhVVuJUCHW71DJcQ6AF6BAgDEAI#v=onepage&q=lodos%20activados&f=false

Quispe, H. J. (2013). “Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilización - Azángaro”. Universidad nacional del altiplano, Facultad De Ingeniería Agrícola, 181. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5485>

Ramalho, R. S. (2003). Proceso de lodos activos centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua. <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/TRATAMIENTO.pdf>.

Ramis, C. J. (2019). Aguas residuales urbanas. España: elearning. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=wMfIDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=disposicion+de+lodos+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=disposicion%20de%20lodos%20de%20aguas%20residuales&f=false

Rigola, L. M. (1990). Tratamiento de aguas residuales: aguas de proceso y residuales. Barcelona: marcombo.

Romero, L. Y., Rojas, O. L., & Rodriguez, M. J. (1998). Evaluación de un filtro percolador sin recirculación con medio de soporte en pvc para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias). Instituto de investigacion para la industria alimenticia, Cuba. Obtenido de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32765>

Salazar, M. Y. (2012). Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales. Mexico: Indesol. Obtenido de <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Agua%20y%20Saneamiento/Eficiencia%20en%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>

Salazar, R. J. (2021). Eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de

tratamiento de aguas residuales de celendín. Universidad nacional de cajamarca, Facultad De Ciencias Agrarias, 101. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4083?show=full>

Sanchez, M. R., Rosa, D. E., & Moreno, M. M. (2011). Análisis de la confiabilidad del funcionamiento de lagunas facultativas primarias en villa clara-cuba. Santiago de Cuba: Scielo. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543772003>

Sánchez, O. I., & Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. Ingeniería y Desarrollo, 25. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-34612012000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Sans, F. R., & Ribas, J. d. (1989). *Ingenieria ambiental: contaminacion y tratamientos*. Barcelona: marcombo. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=kumplOJs6T0C&pg=PA127&dq=FILTROS+PERCOLADORES&hl=es-419&sa=X&ved=2ahukewjssbii5r74ahxgerkght3lco0q6af6bagleai#v=onepage&q=filtros%20percoladores&f=false>

Sota, M. D. (2004). Manual de procedimientos de desinfeccion. Buenos Aires: Direccion Nacional de Sanidad Animal. Obtenido de <https://www.oirsa.org/contenido/2004/Manual%20Limpieza%20Desinfecci%C3%B3n%20V5.pdf>

SUNASS, S. N. (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. 80. Obtenido de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/3.-Sunass-GIZ-PROAGUA-2008.-Diagn%C3%B3stico-situacional-de-los-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-las-EPS-del-Per%C3%BA-y-propuestas-de-soluci%C3%B3n.pdf>



- Trujillo, H. A. (2021). Apuntes para la mateia de procesos biologicos "tratamiento biologicos aplicados a las aguas residuales". Universidad autonoma de Chiapas, Mexico. Obtenido de [http://www.cecodes.net/Apuntes/tratamientos%20biol% c3% 93 gicos% 20 aplicado% 20 a% 20 las% 20 aguas% 20 residuales.pdf](http://www.cecodes.net/Apuntes/tratamientos%20biol%c3%93gicos%20aplicado%20a%20las%20aguas%20residuales.pdf)
- Vivanco, E., Yaya, R., & Chamy, R. (2021). Manula tecnico sobre tecnologias biologicas anaerobias al tratamiento de aguas y residuos industriales. peru: CYTED. Obtenido de <https://www.cytcd.org/es/biblioteca/manual-tecnico-sobre-tecnologias-biologicas-anaerobias-aplicadas-al-tratamiento-de-aguas>

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Ingreso de aguas residuales a la laguna facultativa del distrito de Pucara



Lagunas facultativas del distrito de Pucara



Efluente de las lagunas facultativas del distrito de pucara



Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales de José Domingo Choquehuanca



Sedimentador de la planta de tratamiento de José Domingo Choquehuanca



Filtro percoladores de José Domingo Choquehuanca



Piedra pómez del filtro percolador de José Domingo Choquehuanca



Decantador en proceso de aireación en el tanque ICEAS de la planta de tratamiento de aguas residuales de Yunguyo



Decantador en el tanque ICEAS de la PTAR Yunguyo



Aliviadero de efluente de la PTAR Yunguyo



Muestreo del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Yunguyo



Muestreo del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pucara