



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFICIENCIA DEL REACTOR IMHOFF DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DE ILAVE-PROPUESTA DE DISEÑO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. VICTOR RAUL CAYLLAHUA HUANACO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Dedico esta investigación, a quienes forjaron mi sendero, mis padres Fernando Cayllahua y Juana J. Huanaco, que, con su paciencia y amor infinito, me hicieron un hombre de bien.

A mi familia entera que siempre está para brindarme su apoyo.

A mi esposa Luz Ayde, por el soporte en los momentos difíciles y ser mi socia de vida.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme disfrutar de la vida y mostrarme a las personas, caminos y situaciones correctas.

El agradecimiento a mi director de tesis Ing. Néstor Fernández Sila y jurados Ing. Edgar Vidal Hurtado Chavez, Ing. Mariano Roberto García Loayza, Ing. Cesar Edwin Guerra Ramos, por su paciencia y guía durante la ejecución de esta investigación.

A los involucrados que aportaron en la realización de mi investigación, y también a los ingenieros Zenón Mellado Vargas, y Yoni Ari por la confianza depositada en mi persona, quienes con su experiencia me han orientado profesionalmente.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17

1.2.1. Problema general..... 17

1.2.2. Problemas específicos 18

1.3. HIPÓTESIS 18

1.3.1. Hipótesis general..... 18

1.3.2. Hipótesis específicas 18

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 18

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 19

1.5.1. Objetivo general..... 19

1.5.2. Objetivos específicos 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 21



2.1.1. Antecedentes a nivel internacional	21
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional.....	25
2.1.3. Antecedentes regionales.....	27
2.2. BASE TEÓRICA.....	30
2.2.1. El agua residual y sus características	30
2.2.2. Sistemas de tratamiento de agua residual	40
2.2.3. Criterios generales para la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales	58
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	60
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	62
3.3. MATERIALES DE ESTUDIO	62
3.3.1. Componentes actuales.....	62
3.3.2. Descripción del sistema actual.....	64
3.3.3. Población y muestra de estudio.....	72
3.4. METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	73
3.4.1. Metodología de investigación	73
3.4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	73
3.4.3. Procesamiento de información.....	85
3.5. ANÁLISIS Y REGISTRO DE INFORMACIÓN	86
3.5.1. Datos de diseño	86
3.5.2. Evaluación y análisis técnico de datos de campo	89
3.5.3. Cálculo y evaluación del PTAR.....	90



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA	106
4.1.1. Hojas de cálculo parámetros de diseño.	113
4.2. DISCUSIÓN.....	127
4.3. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	128
4.3.1. Del objetivo general	128
4.3.2. De los objetivos específicos	129
V. CONCLUSIONES.....	132
VI. RECOMENDACIONES.....	134
VII. REFERENCIAS.....	135
ANEXOS.....	140

TEMA: Eficiencia del Reactor Imhoff de la PTAR del Camal Municipal de Ilave y
Propuesta de Diseño

ÁREA: Tratamiento de Aguas Residuales

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica y Medio Ambiente.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de julio del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de determinación de sólidos totales.....	34
Figura 2	Esquema de un desarenador (vista en planta y en corte longitudinal).....	43
Figura 3	Esquema de un tanque Imhoff	45
Figura 4	Partes del reactor Imhoff.....	48
Figura 5	Extensión del vertedero de salida hacia el sedimentador.....	50
Figura 6	Detalle de la sección de lodos en el reactor Imhoff	51
Figura 7	Vista en planta de los componentes del reactor Imhoff	53
Figura 8	Ubicación de la PTAR con respecto a la localidad de Ilave	60
Figura 9	Centro de beneficio (Camal) Ilave	61
Figura 10	Componentes actuales de la PTAR Camal Municipal Ilave.....	62
Figura 11	Imagen Actual Tanque Imhoff.....	63
Figura 12	Sistema de la planta de tratamiento actual.....	64
Figura 13	Imagen Actual del Tanque de Regulación	65
Figura 14	Imagen cámara de rejillas existente.....	66
Figura 15	Imagen desarenador existente	67
Figura 16	Imagen Actual Tanque Imhoff.....	68
Figura 17	Imagen actual tanque Imhoff, vista lateral.....	69
Figura 18	Imagen actual Laguna de Maduración, vista lateral	70
Figura 19	Excavación y preparación para muestreo de agua del efluente	71
Figura 20	Imagen del punto de entrega al cuerpo receptor	71
Figura 21	Coordinación con el personal administrativo del Camal	74
Figura 22	Reconocimiento de los componentes de la PTAR del camal Ilave.....	75
Figura 23	Punto de muestreo y aforo del afluente del PTAR.....	76
Figura 24	Punto de muestreo del efluente del PTAR	76



Figura 25	Punto de aforo del afluente del PTAR	77
Figura 26	Preparación de Materiales para el muestreo y aforo en el afluente	78
Figura 27	Preparación de Materiales para Muestreo de agua residual	78
Figura 28	Medición de pH y temperatura de la muestra in situ	79
Figura 29	Envasado-colocado al cooler para su mantenimiento de temperatura	80
Figura 30	Muestreo y llenado de envases del efluente de la PTAR.....	80
Figura 31	Etiquetado de los envases	81
Figura 32	Etiquetado y rotulado de envases.....	82
Figura 33	Colocado de muestras al contenedor y transporte.....	82
Figura 34	Medición de las dimensiones del sistema de pretratamiento.....	83
Figura 35	Medición de las dimensiones del sistema del Tanque Imhoff.....	84
Figura 36	Medición de la altura Tanque Imhoff	84
Figura 37	Dimensionamiento de Laguna de Maduración de la PTAR	85
Figura 38	Laguna de maduración con zonas muertas	90
Figura 39	Tren de tratamiento existente y evaluado	106
Figura 40	Sistema de tratamiento propuesto por el investigador.....	111



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características físicas del agua residual y su procedencia.....	31
Tabla 2	Características químicas del agua residual y su procedencia.....	35
Tabla 3	Características biológicas del agua residual	38
Tabla 4	Clasificación de los microorganismos	38
Tabla 5	Agente infecciosa presentes en el agua residual doméstica.....	39
Tabla 6	Valores para el factor de capacidad relaiva	51
Tabla 7	Tiempo requerido para la digestión de lodos.....	52
Tabla 8	Aforo de agua en afluente. Día 01	86
Tabla 9	Aforo de agua en afluente. Día 02.	87
Tabla 10	Aforo de agua en afluente. Día 03.	87
Tabla 11	Parámetros físicos químicos y microbiológicos de diseño	88
Tabla 12	Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR	92
Tabla 13	Valores Máximos Admisibles para descargas al alcantarillado.....	97
Tabla 14	Valores Máximos Admisibles para descargas al alcantarillado.....	97
Tabla 15	Comparación de los Parámetros de los efluentes con LMP.....	99
Tabla 16	Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 01	100
Tabla 17	Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 02.....	101
Tabla 18	Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 03.....	102
Tabla 19	Resumen de dimensiones internas de los componentes existentes	107
Tabla 20	Resumen de análisis de agua residual en afluente	107
Tabla 21	Resumen de análisis de agua residual en efluente	108
Tabla 22	Resumen de eficiencia de tratamiento	108
Tabla 23	Norma OS.090 para selección de unidades de tratamiento.....	109
Tabla 24	Eficiencias típicas de remoción	110



Tabla 25	Valores límites del efluente tratado del diseño propuesto	112
Tabla 26	Parámetros para el diseño hidráulico.	113
Tabla 27	Diseño hidráulico de la cámara de rejillas.	113
Tabla 28	Diseño hidráulico del desarenador	115
Tabla 29	Parámetros para diseño hidráulico del tanque Imhoff.	116
Tabla 30	Diseño hidráulico de la zona de sedimentación del tanque Imhoff.	116
Tabla 31	Diseño H. de la zona de espumas o natas del tanque Imhoff.....	117
Tabla 32	Diseño hidráulico de la zona de digestión del tanque Imhoff.....	118
Tabla 33	Parámetros de diseño del filtro biológico	119
Tabla 34	Diseño hidráulico filtro biológico zona de distribución	120
Tabla 35	Diseño hidráulico sedimentador secundario	121
Tabla 36	Parámetros para el diseño hidráulico humedal artificial.....	122
Tabla 37	Diseño hidráulico humedal artificial.....	124
Tabla 38	Diseño hidráulico de sistema de cloración.....	124
Tabla 39	Comparativo con LMP y resultados de la propuesta de diseño	131



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MINAM	:	Ministerio del Ambiente
PTAR	:	Planta de tratamiento de aguas residuales
LMP	:	Límites máximos permisibles
ECA	:	Estándares de calidad ambiental
DQO	:	Demanda química de oxígeno
DBO₅	:	Demanda bioquímica de oxígeno
RAFA	:	Reactor anaerobio de flujo ascendente
pH	:	Potencial de hidrogeniones
T°	:	Temperatura
SSF	:	Sólidos suspendidos fijos
SS	:	Sólidos suspendidos
SSV	:	Sólidos suspendidos volátiles
SVT	:	Sólidos volátiles totales
ST	:	Sólidos totales
OTASS	:	Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento
SUNASS	:	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
EPS	:	Empresa Prestadora de Servicio
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
OPS	:	Organización Panamericana de Salud



RESUMEN

La presente tesis consiste en determinar la eficiencia del reactor Imhoff y componentes de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave, debido a que actualmente esta infraestructura se encuentra con deficiencias en su operación y el afluente descargado al río Ilave, genera daños al medio ambiente y la salud pública. Ante ello, esta investigación tiene por objetivo determinar la eficiencia del reactor Imhoff en la planta de tratamiento de agua residual del Camal Municipal Ilave, demás componentes de la PTAR y proponer un diseño funcional con un tren de tratamiento óptimo. Se analizaron tres muestras de agua residual en el afluente y tres en el efluente, y el levantamiento de las dimensiones de los componentes de la PTAR. El enfoque de la investigación es cualitativo, nivel descriptivo, tipo observacional con datos prospectivos y medición transversal. Los resultados obtenidos de los efluentes de las muestras M2, M4 y M6 superan los límites máximos permisibles con lo establecido en el D.S. 003-2010-MINAM-LMP siendo los más significativos DBO de 554mg/L, sólidos suspendidos totales de 380mg/L, DQO de 1500 mg/L, Nitrógeno amoniacal de 175.50 mg/L; y la propuesta es: tratamiento preliminar (cámara de rejillas, desarenador), tratamiento primario (reactor Imhoff), tratamiento secundario (sedimentador secundario, filtro biológico y nave de macrófitas), tratamiento terciario (sistema de desinfección) y tratamiento de lodos (lecho de secado). Se concluye que el reactor Imhoff y componentes de la PTAR del camal municipal Ilave no son eficientes, por lo que esta infraestructura no cumple con su objetivo de remoción, y el tren de tratamiento no es el adecuado por lo que se ha propuesto un diseño que cumpla con las normas legales.

Palabras clave

Camal, Imhoff, reactor, PTAR, afluente, efluente.



ABSTRACT

This thesis consists of determining the efficiency of the Imhoff reactor and components of the residual water treatment plant of the municipal slaughterhouse of Ilave, due to the fact that this infrastructure currently has deficiencies in its operation and the tributary discharged into the Ilave river generates damage. to the environment and public health. Given this, this research aims to determine the efficiency of the Imhoff reactor in the wastewater treatment plant of the Ilave Municipal Farm, other components of the WWTP and propose a functional design with an optimal treatment train. Three samples of residual water in the influent and three in the effluent were analyzed, and the dimensions of the components of the WWTP were surveyed. The research approach is qualitative, descriptive level, observational type with prospective data and cross-sectional measurement. The results obtained from the effluents of samples M2, M4 and M6 exceed the maximum permissible limits established in the D.S. 003-2010-MINAM-LMP being the most significant BOD of 554mg/L, total suspended solids of 380mg/L, COD of 1500 mg/L, Ammoniacal Nitrogen of 175.50 mg/L; and the proposal is: preliminary treatment (grille chamber, grit trap), primary treatment (Imhoff reactor), secondary treatment (secondary settler, biological filter and macrophyte vessel), tertiary treatment (disinfection system) and sludge treatment (sludge bed). drying). It is concluded that the Imhoff reactor and components of the WWTP of the Ilave municipal slaughterhouse are not efficient, so this infrastructure does not meet its removal objective, and the treatment train is not adequate, so a design has been proposed that comply with legal regulations.

Keywords

Camal, Imhoff, reactor, WWTP, influent, effluent.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El deterioro del medio ambiente incrementó paulatinamente lo que origina daños a los recursos naturales y el riesgo a la salud. Ante ello, el tratamiento de aguas residuales con fines de reúso, re-infiltración y reposición a las aguas superficiales, no son tan generalizadas. El impacto que generan las plantas de tratamiento es negativo, porque son insolventes y hacen uso de tecnologías dañinas. (De la Vega, 2012).

Una planta de tratamiento de aguas residuales comprende un conjunto de procesos y actividades unitarias físicos-químicos o biológicos, o una mezcla de estos, que interfieren en los fenómenos de manejo y transporte de fluidos. (Farias, 2016)

El tratamiento de aguas residuales municipales e industriales es primordial para la buena salud, desarrollo económico y social de la región, ya que con las aguas servidas y tratadas que son entregados a los ríos y lagos, se puede disminuir la contaminación, aumentar la producción de la fauna acuática, usar agua para riego y otros fines. La actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal, por las visibles condiciones en la que se encuentra, se estima que no cumple con el objetivo de tratamiento, para el cual se ha planteado realizar diagnóstico de los componentes y análisis del agua residual y proponer un sistema eficiente. La finalidad de esta investigación es establecer la eficiencia del biorreactor Imhoff y sus componentes, para ello se tomó como punto de investigación la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Municipal de Ilave.

El contenido de la presente investigación se ha estructurado en VII capítulos, los cuales se detallan a continuación:



El capítulo I, referido a la “Introducción”, muestra la formulación del problema actual de la PTAR del camal municipal Ilave, así también se presentan las hipótesis, justificación y objetivos de investigación.

El capítulo II, concerniente a “Revisión de literatura” compila información referido al tema materia de la investigación, así como conceptos y antecedentes que dan soporte al tema de tratamiento de aguas residuales procedentes de los camales.

El capítulo III, señala los “Materiales y métodos” utilizados en la presente investigación. Adicional a ello se indica el lugar, población y muestra de estudio, la metodología de investigación, los instrumentos de recolección y procesamiento de datos.

En el capítulo IV se presenta los “Resultados y discusión”, conseguidos luego del análisis de las muestras de agua residual, donde se pueden observar gráficos, tablas y resúmenes de los informes del laboratorio.

Luego, el Capítulo V sección de “Conclusiones”, indica las conclusiones de la investigación conforme a lo planteado en los objetivos.

El Capítulo VI “Recomendaciones” señala las recomendaciones en base a las conclusiones obtenidas.

Para finalizar, el Capítulo VII muestra las “Referencias Bibliográficas” consultadas.

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Larios et al. (2015), señalan que la problemática en Latinoamérica es el suministro de agua, dado que más del 80% de la población está focalizada en ciudades,



y la contaminación del agua pone en riesgo la salud pública. Además, el 70% de aguas residuales carecen de tratamiento lo que contraviene el ciclo de agua sostenible y saludable. Lo que se induce de lo mencionado que se necesitan PTAR's principalmente en ciudades por su alta concentración urbana.

En Perú, más del tercio de la población total está en riesgo de salubridad porque no cuenta con servicios de saneamiento, esto se debe a la poca gestión y políticas del tratamiento de agua potable y aguas residuales, Larios et al. (2015). Dentro de las regiones del Perú se observa una realidad complicada en referencia al servicio de agua potable y saneamiento; según la OTASS, son 50 EPS que operan PTAR, y algunas están a cargo de los municipios, y el servicio dado es ineficiente y tiene baja calidad en el tratamiento de aguas residuales. (Vildoso, 2017).

La Autoridad Nacional del Agua (2013) estimó que sólo un 4.9% de las PTAR de Perú, operan en óptimos niveles, y que, entre otros, los ríos de Puno están contaminados por aguas residuales municipales sin tratamiento. Ahora bien, dentro de los problemas de las PTAR están el diseño, construcción, la selección de las alternativas tecnológicas y la operación y mantenimiento. Al respecto (SUNASS, 2015) realizó un estudio de diagnóstico de las PTAR en el ámbito de operación de las EPS e identificó que la aplicación de la tecnología de tratamiento secundario mediante “lagunas facultativas” es la más aplicada en nuestro país. Finalmente, esta entidad reguladora, propone el mejoramiento de la infraestructura de las PTAR, investigación en optimización tecnológica en el tratamiento de aguas residuales.

La norma sanitaria OS.090 indica que el tratamiento anaerobio de aguas residuales es adecuado para aguas residuales de temperaturas que superan los 15 °C; sin embargo, la norma boliviana NB688 instalaciones sanitarias – alcantarillado sanitario, pluvial y



tratamiento de aguas residuales, acepta aplicar lagunas anaerobias para temperaturas menores a 8 °C, situación que proyecta las condiciones de Ilave, que cuenta con una temperatura promedio de 7 °C según reporte del SENAMHI.

En la actualidad, el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Ilave, no cuenta con un planteamiento y diseño hidráulico adecuado según la caracterización del agua residual y parámetros de diseño, y además viene operando deficientemente y en consecuencia atenta contra la salud pública ya que el afluente es entregado al río Ilave.

En la PTAR del camal municipal Ilave la laguna de maduración se encuentra parcialmente operativa, y solamente el tanque Imhoff (estructura del tratamiento primario) está en funcionamiento, pero le falta un sistema de tuberías para extraer lodos de la zona de sedimentación; por lo que en un futuro cercano podría convertirse en un potencial de riesgo para que esta PTAR deje de funcionar.

Por lo expuesto, en esta investigación se va evaluar el funcionamiento del reactor Imhoff y demás componentes como propuesta de diseño. Surge entonces los siguientes interrogantes general y específicos.

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1.- Problema general

¿Cuál es la eficiencia del reactor Imhoff en la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Municipal de Ilave?



1.2.2.- Problemas específicos

- ¿Qué parámetros del efluente de la PTAR del camal municipal Ilave, cumple los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. 003-2010 MINAM?
- ¿Cuáles son las dimensiones de los componentes de la PTAR del camal municipal Ilave, que corresponden a los parámetros de diseño?
- ¿Cuál es el diseño hidráulico de los componentes complementarios al tanque Imhoff para su funcionamiento adecuado en el tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave?

1.3.- HIPÓTESIS

1.3.1.- Hipótesis general

El reactor Imhoff actual como componente principal de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal es eficiente.

1.3.1.- Hipótesis específicas

El agua residual del efluente de la PTAR del camal municipal de Ilave cumple con los límites máximos permisibles del DS 003-2010 MINAM.

1.4.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Al año 2017 la población del distrito de Ilave alcanzó los 46018 habitantes, con 30710 viviendas, y una tasa de crecimiento de 2.77%/año según el Censo Nacional de Población y Vivienda INEI, lo que ha originado mayor demanda en el consumo de alimentos básicos, por ejemplo, carnes rojas y derivados, las mismas que para su proceso e industrialización requiere de agua en gran magnitud, que finalmente se transforman en aguas residuales.



Con esta investigación se va evaluar las principales fuentes contaminantes de las aguas residuales del camal: sólidos en suspensión, DBO₅ y aceites. Por lo que con los resultados obtenidos se puede determinar la magnitud del problema latente en Ilave, y a partir de ello plantear soluciones, políticas de saneamiento hídrico y acciones multidisciplinarias.

Dado que las aguas servidas son vertidas al río Ilave y luego converge al Lago Titicaca, ésta acción conlleva a la contaminación del recurso hídrico y genera problemas de salubridad de las personas, por eso con esta investigación se hará una propuesta de diseño para conseguir reducir todos los contaminantes y lograr que los parámetros cumplan con los límites permisibles para un eficiente funcionamiento de la PTAR.

Consecuentemente, los resultados obtenidos en esta investigación aportarán en el fundamento teórico para investigaciones futuras, beneficiará también a la población de Ilave y aledaños en la mejoría de los servicios básicos de saneamiento.

1.5.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1.- Objetivo general

- Determinar la eficiencia del reactor Imhoff en la planta de tratamiento de agua residual del Camal Municipal Ilave.

1.5.2.- Objetivos específicos

- Evaluación de aguas residuales del efluente de la PTAR del camal municipal para ver si cumple o no con los límites máximos permisibles según DS 003-2010 MINAM.



- Evaluar y dimensionar cada uno de los componentes de la planta de Tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave para determinar si corresponde a los parámetros de diseño.
- Proponer el diseño hidráulico de los componentes complementarios al tanque Imhoff que cumplan con los límites máximos permisibles para descargas de efluentes de PTAR.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- ANTECEDENTES

2.1.1.- Antecedentes a nivel internacional

En el estudio de Yapu (2018) titulado “Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del municipio de San Buenaventura” el objetivo principal fue recuperar aguas residuales domésticas por medio de tanques de bioincubación anaeróbica, para obtener agua de tratamiento primario de uso agrícola. Para ello, evaluó los estándares de eliminación de agua residual en comparación con la regulación ambiental Ley 1333 correspondientes a los valores máximos permisibles de liberación de organismos receptores al medio ambiente. Concluyó que los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos analizados no cumplieron con los LMP; y además, es muy costoso la construcción de una PTAR a gran escala en el país, por lo que el uso de biorreactores en pequeños pueblos rurales ayudará a mejorar mucho la calidad de las aguas residuales.

Freire (2012) en su investigación intitulada “Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Teimsa-Ambato” en Ecuador, se planteó como objetivo analizar y evaluar su sistema de la planta de tratamiento de Teimsa encargado del tratado de la aguas residuales textiles, para ello, el investigador realizó un listado de los límites permisibles de las impurezas en el agua para ponerlo en comparación con la normativa, así como los parámetros de prueba de la PTAR y la revisión del sistema hidráulico, verificación de equipos brindados por el proveedor, costos de operación de la planta y análisis de consumo de energía. El estudio concluyó que la planta cumplía con



los criterios de operación hidráulica, pero no cumplía con los criterios de costo de operación, específicamente por el consumo excesivo de energía y la falta de dotación de algunos equipos; además, es importante hacer una evaluación preliminar de los contaminantes que la planta de tratamiento propuesta puede remover, los parámetros de operación (hidráulicos, de potencia), y el cumplimiento de los costos de operación que requiere diariamente.

Correa (2008) realizó un estudio denominado “Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia”, con el objetivo del monitoreo y evaluación de la operación del sistema de lagunas de estabilización, utilizadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de Santa Fe de Antioquia; los métodos de investigación incluyeron la recopilación de información primaria, muestras de campo y trabajo en el laboratorio. Para ello, se efectuaron mediciones de variables fisicoquímicas y biológicas, incluyéndose seguimiento de 24 horas para algunas variables. Igualmente se realizó una amplia revisión de información secundaria, principalmente en lo concerniente a caracterizaciones realizadas durante varios años, planos del proyecto y parámetros de diseño, la autora concluye: En cuanto a la temperatura ambiente, la estratificación térmica en las lagunas ocurrió alrededor de las 15:30 horas. m., debido a que durante el resto del día la temperatura desciende ligeramente con la profundidad, en cuanto a la temperatura del agua el sistema tiene un gran aporte de energía debido a las condiciones climáticas de la zona, por lo que tiende a favorecer la remoción de materia orgánica, disuelta las concentraciones de oxígeno muestran una diferencia significativa con respecto a las profundidades en el centro de las lagunas en formación, mientras que en las lagunas anaerobias son muy bajas, conductoras de electricidad en dos lagunas de forma similar, con concentraciones ligeramente superiores en el estanque anaeróbico 2, el pH en



estanques anaeróbicos presenta un rango promedio de 6.79 a 7.20, que tiende a convertirse en un ambiente ácido por la noche (6.1 y 6.2). Estos datos son indicadores de la variabilidad de los procesos anaerobios en determinados momentos, ya que se ha detectado el potencial medio de las lagunas fértiles.

Espitia (2017) en su investigación denominada “Diagnóstico, evaluación y planteamiento de mejora en los componentes de la planta de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyacá” tuvo como objetivo proponer mejorías en los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Buenavista, para el cumplimiento de dicho objetivo, realizó el diagnóstico a la PTAR Quebrada las Brujas del Municipio de Buenavista, y determinó que no cumplía con los estándares establecidos para la descarga en la fuente receptora, por lo que el investigador rediseñó algunos componentes para cumplir con la normatividad. Asimismo, asume que la baja eficiencia en la eliminación de contaminantes se debe a equipos defectuosos, tiempos cortos de aireación, mantenimiento estructural deficiente, conocimiento deficiente del operador y manejo óptimo de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Luego de evaluar las unidades del sistema de lodos activados y comparando con la normativa RAS 2000, concluyó que ninguna de las estructuras cumple con los estándares especificados.

Por otro lado, Artero & Quiusque (2012) en su trabajo de investigación “Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario”, tuvieron como objetivo depurar las aguas residuales domésticas de una familia con cinco miembros, debido a que es un problema latente en El Salvador, para ello implementaron dos microhumedales artificiales con dos plantas acuáticas. El efecto de las microhumedades se midieron con parámetros físicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto y DBO₅, sólidos sedimentables, y pH. Llegaron a la conclusión de que el tratamiento convencional de aguas residuales mediante el uso de microhumedales es muy



eficaz porque redujo el DBO_5 de 2310 mg/L a 7 mg /L cuando se evaluó con el microhumedal que contenía jacinto de agua y también disminuyó el DBO_5 a 5 mg/L, cuando se evaluó con el microhumedal de planta de tule.

Chiriboga (2016) realizó una investigación denominada “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales Ubillus en la parroquia Pintag e implementación del sistema de gestión integrado” Ecuador, tuvo como objetivo evaluar la operatividad de la planta de tratamiento Ubillus y la implementación del sistema de gestión integrada. Estableció como conclusión que el sistema de tratado de aguas residuales ubicado en Ubillus es un sistema de tratamiento, adecuado para localidades pequeñas debido al alto índice de rechazo de cada uno de los procesos que lo componen: separación, tamizado, descomposición de fosa séptica, filtración anaerobia a contracorriente y ósmosis en el suelo. El diseño actual de la rejilla no es suficiente para retener los materiales que se introducen en la planta de tratamiento, la distancia entre las barreras actualmente es de 7 cm, como una pantalla rugosa, lo que permite que la basura ingrese al tanque séptico, surgiendo problemas como bloqueos. en el mismo. Se identificó una filtración ineficiente en la PTAR, lo que permite el paso de partículas de materia inorgánica de gran tamaño mediante la rejilla, provocando que los cuartos que componen la fosa séptica queden llenos de basura, afectando la eficiencia. Las concentraciones de parámetros como fósforo, DBO_5 y DQO excedieron las concentraciones medias estimadas del agua residual doméstica indicado en el libro de Metcalf & Eddy, el incremento de materia orgánica, se asume que se debía a la crianza de animales, cría y producción de productos lácteos típicos de Pintag. Finalmente, el investigador plantea implementar un sistema de gestión integrado para que los técnicos encargados de la operación y mantenimiento de la PTAR sepan cómo realizar las actividades necesarias para el correco funcionamiento de la planta de tratamiento.



2.1.2.- Antecedentes a nivel nacional

Panduro (2017) realizó un proyecto de investigación titulado: “Tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba en un biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto”, tuvo como objetivo dimensionar un biorreactor UASB para lograr el tratamiento integral de las aguas residuales del matadero de Moyobamba. El procedimiento metodológico adoptado fue estructurado en seis etapas, iniciando en la recolección de datos, prosiguiendo con el reconocimiento del matadero municipal, caracterización de aguas residuales, dimensionamiento del biorreactor tipo UASB, determinación de LMP de DBO₅ y DQO y finalizando con la obtención de biól, biosol y biogás. El investigador concluye que se observaron resultados positivos en la remoción de la carga contaminante Gracias al sistema UASB utilizado para el tratamiento de aguas residuales del matadero de Moyobamba, el cual ha demostrado ser efectivo en la remoción de DBO₅ y DQO, en promedio una carga orgánica de 5000 mg/L, y tiempo de retención de 0,8 días, lo que permite un tratamiento completo.

Barraza y Palpa (2011) en su trabajo de investigación “Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores UASB y filtros contenedores a escala piloto”, se realizó exámenes de laboratorio y pruebas a escala, considerando para los reactores 2 días como tiempo de retención hidráulica con caudal de 24 l/min y para el filtro contenedor 42.46 ml/s. Los investigadores han concluido, con respecto a los reactores, la remoción mínima del parámetro DQO del reactor No 1 se dio en el día 1 de análisis, alcanzando un valor de 24,51% con dilución del 25%, y la máxima remoción se da en el día 93 obteniendo un valor de 89,23% con dilución del 50%. Para el caso del filtro contenedor, la menor eficiencia de remoción de DQO fue de 57.27% y la mayor de 64.65%. La ventaja de utilizar un filtro de tanque para el tratamiento de aguas residuales industriales se muestra



en su capacidad para reducir la masa de lodos con una eficiencia equivalente o superior a la del reactor UASB. El tratamiento se vuelve mucho más efectivo cuando la entrada es preprocesada antes de ingresar al filtro de contenedores.

Espinoza (2017) realizó una investigación denominada “Alternativas de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del distrito de Tumbes” cuyo objetivo fue plantear una propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea viable para el uso futuro de agua de riego de plantas de tallo corto, adicional a ello, evaluó los procesos de obtención de carne para consumo humano en el Camal Municipal de Tumbes, en cada proceso se determinaron los tipos de residuos generados, así como los parámetros físico químico y microbiológicos con el fin de estimar la cuantía de carga contaminante. Finalmente, el investigador concluye que, mediante el sistema de tratamiento propuesto, pudo conseguir que aguas residuales puedan ser reutilizadas para riego de plantas de tallo corto, además los parámetros alcanzados en los resultados están dentro de los valores permitidos por la norma y pautas señaladas por la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Berrios & Urquiza (2020) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales del camal la Colina - Pedregal usando el método de reactor UASB” propusieron la construcción de una planta de tratamiento en el centro poblado La Colina, toda vez que no cuenta con una planta de tratamiento de agua residual. Para ello, plantearon un diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales con el propósito de eliminar la contaminación producida por la eliminación de aguas residuales en el camal La Colina, mediante un sistema de tratamiento apropiado. Concluyeron con la propuesta de diseño, que incluye la implementación de dos reactores UASB al poseer una carga orgánica elevada. Por otro lado, estimaron los costos de construcción de la planta de tratamiento; además, el caudal promedio del efluente según los cálculos es de 2.31 L/s, valor que cumple con los valores



admisibles para ser vertidas al alcantarillado; y cumpliendo con los límites máximos permisibles para la reutilización de agua en riego de áreas verdes.

Leyva (2017) en su investigación “Diseño del sistema de alcantarillado en el caserío de Nuevo Edén, distrito de Nueva Cajamarca – provincia de Rioja – región San Martín” se planteó como objetivo plantear el sistema de alcantarillado, utilizando redes de colección por gravedad y el tratamiento con tanque Imhoff, filtración de gravas, un lecho de secado y una estructura de efluentes hacia un cauce existente, aporta también el presupuesto para la ejecución del proyecto. La metodología adoptada se centró básicamente en el levantamiento topográfico y su posterior diseño de acuerdo a las condiciones de la población beneficiaria. Concluyó con el planteamiento de componentes estructurales del PTAR para una población proyectada a futuro con período de 20 años; las estructuras incluyen: tanque Imhoff, lecho de secado, filtro biológico y su emisor de descarga hacia el efluente, todos ellos con las cotas idóneas y niveles de cota de terreno del área destinada para la PTAR.

2.1.3.- Antecedentes regionales

Pariccahua (2018) realizó una investigación nombrada “Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar – Puno” en el que tiene como objetivo describir la funcionabilidad de los componentes en el tren de tratamiento, así como evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos de la PTAR de Ayaviri. La metodología empleada estuvo enmarcada en un nivel descriptivo, el procedimiento fue mediante recolección de datos, análisis de muestras, y su posterior comparación con estándares. El autor concluye que la PTAR de Ayaviri no funciona en condiciones óptimas como resultado de los componentes colapsados y porque no hay mantenimiento; además propone añadir



estructuras como son: aforador Parshall, cámara de rejillas, desarenador, cámara de contacto de cloro, una laguna de maduración y sistema de disposición de sedimentos.

Callata (2014) realizó un estudio denominado “Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani – Carabaya – Puno – 2013” donde en su objetivo general, planteó la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización para aseguramiento de la operación, calidad, vertidos, y propuesta de alternativas para su correcto funcionamiento. Luego de los análisis y cálculos, ha determinado que el sistema no trabaja con eficiencia y su remoción es baja, por lo que concluye con un planteamiento de un sistema de tratamiento de aguas, que incluye: sedimentador, estructura de desgrase, separador de sólidos, medidor de caudal, reactor biológico, macrófitas, filtro vertical múltiple y lento, digestor y secado de lodos.

Puente (2017) en su investigación intitulada “Propuesta de una planta de tratamiento para la obtención de compost en la ciudad de Juli – Chucuito – Puno” tuvo como objetivos la caracterización de residuos sólidos orgánicos y su posterior propuesta de diseño de una planta de tratamiento conducente a la producción de compost. La metodología empleada en dicha investigación se realizó seleccionando viviendas en forma aleatoria de las que se obtuvo la producción orgánica per cápita por habitante por día. Para la obtención del compost se utilizó el estiércol bajo el sistema abierto que consiste en pilas con volteo, para ello evaluó 3 muestras con condiciones diferentes analizados por un período de 90 días. Con su investigación concluyó que mediante la adopción de su propuesta, se lograría reducir la problemática de la ciudad de Juli que genera residuos sólidos orgánicos, ya que la planta de tratamiento propuesta generaría 70 tn/año de compost.



Andrade (2020), realizó una investigación denominada “Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020” para ello analizó 2 muestras de 1 L de aguas residuales en el afluente y efluente de la PTAR. Los análisis realizados fueron DBO5, DQO, SST, aceites y grasas y coliformes tolerantes. Concluye que, hasta la fecha de investigación, la PTAR cumple con los LMP para efluentes, así mismo los parámetros materia de evaluación también cumplen con los estándares de calidad ambiental categoría IV, por lo que infiere que el río Macusani no se ve afectada por los efluentes de la PTAR investigada.

Apaza (2021) realizó una investigación intitulada “Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José provincia de Azángaro” en la que tuvo como objetivo estimar cuán eficiente es la PTAR en referencia a la remoción de los contaminantes. Se optó por tomar muestras en la salida de cada estructura de la PTAR de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 033-2010- MINAM. Obtiene que los tratamientos biológicos de la PTAR de Azángaro remueven DQO en 34.32%, DBO en 34.71%, grasas y aceites en 94.4%, sólidos en suspensión en 34.02% y coliformes termotolerantes en 99.11%; por lo que concluye que la PTAR es eficiente con la característica que es menos eficiente en remoción de DQO y DBO y más eficiente en remoción de coliformes termotolerantes y grasas y aceites, la razón es porque el filtro percolador es el menos eficiente en todo el sistema de tratamiento.

Por su parte, Maynas (2018) en su investigación “Determinación de los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca” en el que tiene como objetivo general la determinación de los componentes de los efluentes obtenidos del proceso de flotación, para ello realizó análisis físico químico de los efluentes líquidos, la turbiedad y concentración de oxígeno, concluye que



los resultados para estos 3 parámetros no están dentro los límites máximos permisibles de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica de Calidad Ambiental. Por otro lado, el pH, la temperatura, los sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, si están dentro de lo regulado. Finalmente propone las dimensiones de los componentes del clarificador, deslamador y desarenador lo que permitiría la reducción de iones metálicos disueltos y sólidos en suspensión presentes en los efluentes líquidos.

2.2.- BASE TEÓRICA

2.2.1.- El agua residual y sus características

Las aguas residuales son las aguas usadas producto de la actividad humana, son transportadas mediante el sistema de alcantarillado (Romero, 2010). Según lo indican (Valdez & Vásquez, 2003) se clasifica comúnmente a las aguas residuales en dos tipos: municipales (domésticas) e industriales.

(Menéndez & Pérez, 2007) indican que, el agua residual municipal está constituida por materia orgánica en forma disuelta, coloidal y suspendida. El valor contaminante de estas aguas se puede establecer en función a la contribución per cápita, eso variará según las condiciones higiénico-sanitarias, hábitos alimenticios y costumbres de la población.

El agua residual tiene peculiaridades físicas, químicas, y biológicas, se visualiza en las Tablas 1, 2 y 3, dichas características y su procedencia. Cabe precisar que varios de los parámetros mostrados en la tabla tienen relación entre ellos, por ejemplo, la temperatura siendo una propiedad física, afecta a la cantidad de gases disueltos como a la actividad biológica. (Metcalf & Eddy Inc., 1995)



2.2.1.1.- Características físicas

Se presenta en esta clasificación al contenido sólidos totales (materia sedimentable, materia coloidal, disuelta y en suspensión). Adicionalmente se consideran como características físicas: la temperatura, densidad, color, olor y turbiedad.

Tabla 1

Características físicas del agua residual y su procedencia

Características	Procedencia
Propiedades Físicas	
Temperatura	: Aguas residuales industriales y domésticas.
Olor	: Agua residual en descomposición y residuos industriales.
Color	: Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de la materia orgánica.
Sólidos	: Agua de suministro, aguas residuales industriales y domésticas, erosión del suelo y filtración y conexiones no controladas

Nota. Metcalf y Eddy, Inc. (1995)

a) Temperatura

Cuando la temperatura se incrementa, la mayoría de procesos biológicos se aceleran y viceversa, la razón es porque el oxígeno utilizado es provocado por el metabolismo de los microorganismos. (Valdez & Vásquez, 2003)

Según (Metcalf & Eddy Inc., 1995), por lo general la temperatura del agua residual es mayor que la del agua de abastecimiento, esto se debe al agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, procesos de depuración del agua (coagulación, sedimentación, etc.), por ello es importante determinar la temperatura adecuada para tales fines.



b) Olor

En el proceso de descomposición de la materia orgánica se liberan gases los cuales tiene olores peculiares. El agua residual reciente tiene un olor distintivo desagradable, el cual se puede tolerar más que el agua residual séptica. Una de los factores de rechazo a la construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales es justamente el problema de los olores, por lo que este es un factor vital en el diseño de instalaciones de PTAR.

Considerando los efectos de los olores, éste tiene implicancia en el desarrollo normal de las personas, puesto que genera menor aceptación en el consumo de agua, tensión psicológica, reducción de apetito, náuseas, vacilaciones respiratorias, entre otros; y en casos extremos, pueden generar disminución de inversiones en las ciudades que presentan estos olores, descendiendo el nivel socioeconómico. (Metcalf & Eddy Inc., 1995)

c) Color

El agua residual varía con la edad de empozamiento, composición y concentración, en función a ello se ve la variación de olor y color. Por lo general cuando las aguas residuales son frescas tiene el color gris, y tras el envejecimiento cambia a color gris oscuro y finalmente a color negro. En esta condición, el agua se denomina agua residual séptica y es producido por la formación de sulfuros metálicos principalmente.

Esta característica puede revelar el principio de la contaminación o el estado sea bueno o deteriorado del proceso de tratamiento. (Romero, 2010)

d) Sólidos totales

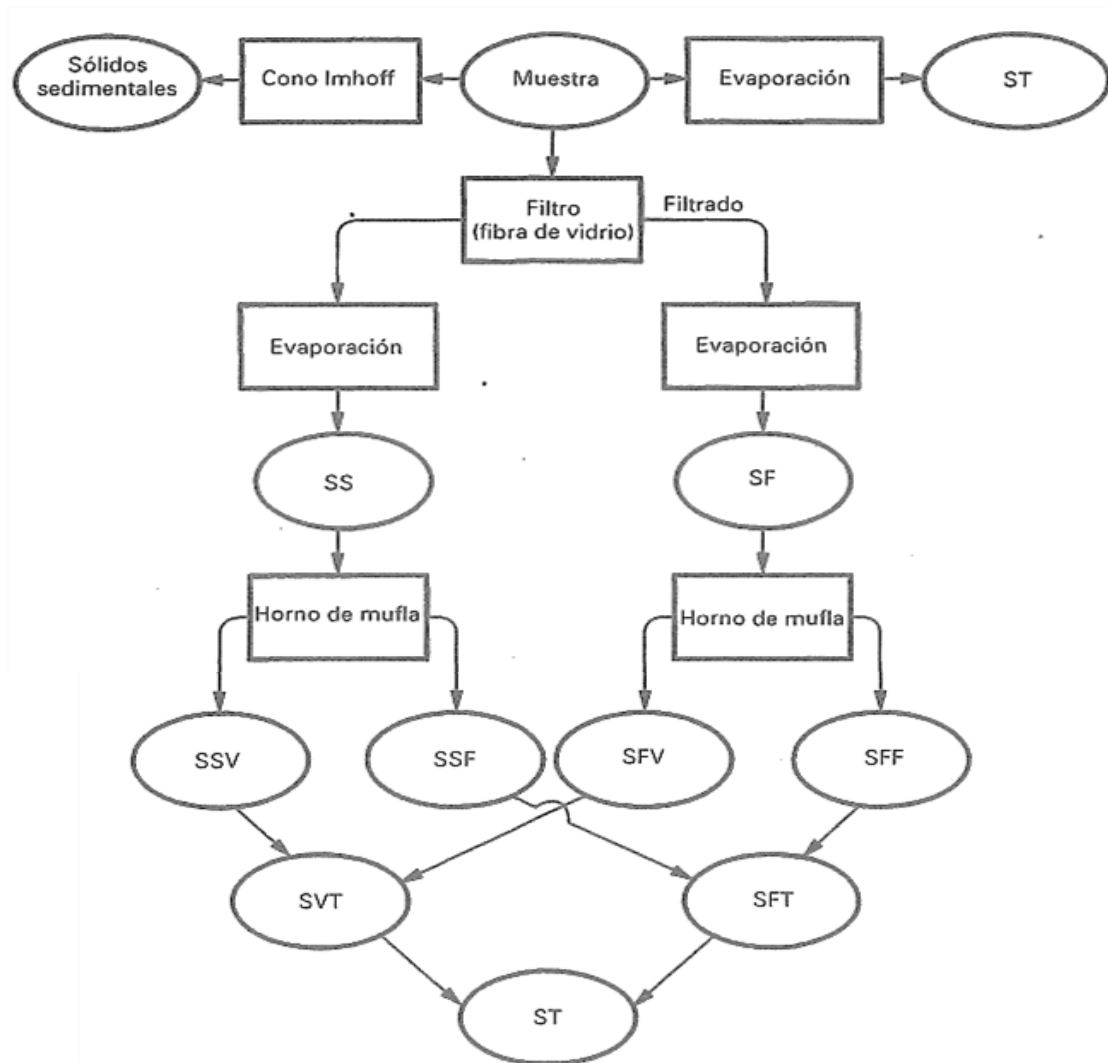


Es la materia obtenida del residuo del proceso de evaporación del agua a temperaturas de 103 °C a 105 °C. Para determinar la materia sedimentable se utiliza un instrumento denominado cono de Imhoff, y es todo el sólido sedimentado en el fondo de este recipiente por un tiempo de 60 minutos, su unidad es ml/L. El valor obtenido representa una aproximación a la cantidad de lodos obtenido durante la sedimentación primaria de aguas residuales. En la Figura 1 se muestra la formación de los sólidos totales.

Los sólidos totales se clasifican en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión) diferencia que se establece al hacer pasar por un filtro el volumen de líquido. Para ello, se utilizan filtros de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 1,2 μm , no obstante, también se utilizan filtros de membrana de policarbonato. (Metcalf & Eddy Inc., 1995)

Figura 1

Esquema de determinación de sólidos totales.



Nota. (Metcalf & Eddy, 1995).

Donde:

SS	:	Sólidos en suspensión
SF	:	Sólidos filtrables
ST	:	Sólidos totales
SFF	:	Sólidos filtrables fijos
SSF	:	Sólidos en suspensión fijos
SSV	:	Sólidos en suspensión volátiles
SFV	:	Sólidos filtrables volátiles
SVT	:	Sólidos volátiles totales



SFT : Sólidos fijos totales

2.2.1.1.- Características químicas

A continuación, en la Tabla 2, se presenta una clasificación de las características químicas del agua residual de acuerdo a sus constituyentes orgánicos, inorgánicos, y los gases.

Tabla 2

Características químicas del agua residual y su procedencia

Constituyentes Químicos Orgánicos		Procedencia
Compuestos orgánicos volátiles	:	Aguas residuales industriales, comerciales y domésticas.
Agentes tenso activos	:	Aguas residuales industriales, comerciales y domésticas.
Contaminantes prioritarios	:	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Carbohidratos	:	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Proteínas	:	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	:	Residuos agrícolas.
Fenoles	:	Vertidos industriales.
Aceites y grasas, grasas animales,	:	Aguas residuales industriales, domésticas y comerciales
Otros	:	Degradación de materia orgánica en forma natural.
Características Inorgánicas		Procedencia
Azufre	:	Agua residual industrial, comercial y doméstica, aguas de suministro.
Contaminantes prioritarios	:	Agua residual industrial, comercial y doméstica.
Fósforo	:	Agua residual industrial, comercial y doméstica y aguas de escorrentía.
pH	:	Aguas residual industrial, comercial y doméstica.
Nitrógeno	:	Agua residual doméstica y Residuos agrícolas.
Metales pesados	:	Vertidos industriales.
Cloruros	:	Agua de suministro, infiltración de agua subterránea y agua residual doméstica.
Alcalinidad	:	Agua de suministro, infiltración de agua subterránea y agua residual doméstica.
Gases		Procedencia
Oxígeno	:	Infiltración de agua superficial y agua de suministro.



Metano	:	Descomposición del residuo doméstico.
Sulfuro de hidrógeno	:	Descomposición del residuo doméstico.

Nota. (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Es importante amplificar conceptos de cuatro subtemas, los cuales son: medición del contenido orgánico, materia orgánica, materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual.

a) Medición del contenido orgánico

En esta clasificación se debe estudiar los valores de demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, la demanda química de oxígeno DQO y carbono orgánico COT.

Para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales, se utilizan dos métodos:

- métodos para la determinación de grandes concentraciones de contenido orgánico mayores a 1 mg/L.: aquí se realizan análisis de: DBO₅, DQO, Carbono Orgánico COT y DTeO (Demanda Teórica de Oxígeno)
- métodos para que determinan concentraciones mínimas o traza, cuyos valores oscilan entre 0.001 mg/L a 1 mg/L: aquí se realiza la espectroscopia de masa y cromatografía de gases.

b) Materia orgánica

En el agua residual, el 40% de los sólidos filtrables y el 75% de sólidos en suspensión son de naturaleza orgánica que provienen del reino animal, vegetal y de la actividad del hombre relacionado con la síntesis de compuestos orgánicos. (Garzón & Espino, 2005)

La combinación de oxígeno, hidrógeno y carbono forman los compuestos orgánicos, y en algunos casos de nitrógeno, hierro, fósforo o azufre. Las



principales sustancias orgánicas del agua residual son los aceites y grasas (10%), hidratos de carbono (del 25% al 50%) y proteínas (entre 40% a 60%). La urea, constituyente de la orina, es otro compuesto orgánico presente en el agua residual; sin embargo, debido a la velocidad de descomposición de la urea, es raro su presencia en aguas residuales no muy recientes.

c) Materia inorgánica

Las aguas naturales y residuales tienen diversos componentes inorgánicos que son importantes para el establecimiento y control de la calidad del agua. Dentro de esta clasificación se considera el análisis de cloruros, pH, metales pesados, azufre, fósforo, nitrógeno, compuestos tóxicos y alcalinidad.

El proceso natural de vaporización, elimina parte del agua superficial y al dejar las sustancias inorgánicas en el agua, incrementan la cantidad de componentes inorgánicos. Es vital examinar este parámetro ya que la concentración de constituyentes inorgánicos puede afectar a los usos del agua.

d) Gases presentes en aguas residuales

En las aguas residuales, los gases que se encuentran con mayor frecuencia son el sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) nitrógeno (N_2), Los tres últimos son gases comunes en la atmósfera. Los tres primeros resultan de la desintegración de materia orgánica de las aguas residuales.

2.2.1.2.- Características biológicas

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los principales constituyentes biológicos presentes en el agua residual.

Tabla 3

Características biológicas del agua residual

Constituyentes Biológicos	Procedencia
Virus	: Agua residual doméstica.
Protistas arqueobacterias	: Plantas de tratamiento, infiltración de agua superficial y agua residual doméstica.
Protista eubacterias	: Plantas de tratamiento, infiltración de agua superficial y agua residual doméstica.
Plantas	: Plantas de tratamiento y cursos de agua.
Animales	: Plantas de tratamiento y cursos de agua.

Nota. (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

Es importante tratar dos temas en esta clasificación: Los Microorganismos biológicos y los organismos patógenos.

- Microorganismos: Se clasifican en organismos arqueobacterias, eubacterias y eucariotas, se muestra esta clasificación en la Tabla N° 4.

Tabla 4

Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos.
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida al eucariota	La mayoría de las bacterias
Eucariotas	Eucariota	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos) Animales (vertebrados e invertebrados) Protista (algas, hongos y protozoos)

Nota. (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

-Organismos patógenos: proceden de los desechos humanos infectados o portadores de una determinada enfermedad. Los principales tipos de organismos patógenos del agua residual son los helmintos, los protozoos, los virus y las bacterias, los mismos que se indican en la Tabla 5. El ser humano puede excretar organismos bacterianos patógenos y llegan a causar enfermedades en el aparato intestinal por ejemplo diarreas, disentería, fiebre tifoidea y paratifoidea, y el cólera. El gran número de muertes cada año es debido al nivel de infecciosidad de estos organismos y afecta principalmente a países con insuficientes recursos sanitarios.

Tabla 5

Agente infecciosa presentes en el agua residual doméstica

Organismos patógenos	Enfermedad	Comentario
Bacterias		
Yersinia enterolítica	Yersinosis	Diarrea
Vibrio cholerae	Cólera	Diarrea extremadamente Fuerte, deshidratación.
Shigella (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
Salmonella (~1.700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimento
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado.
Leptospira (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de weil)
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedades respiratorias Agudas
Escherichia coli (enteropatogénica)	Gastroenteritis	Diarrea
Virus		
Rotavirus	Gastroenteritis	
Reovirus	Gastroenteritis	
Agente norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
P.e. Polio, eco y virus Coxsackie)	Anomalías Cardiacas, meningitis	
Enterovirus (67 tipos)	Gastroenteritis	

Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
Protozoos		
Giardia lamblia	Giardiasis	Diarrea, náuseas, indigestión
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería Amébrica)	Diarrea prolongada con sangre, absesos en el hígado y en el intestino delgado
Cryptosporidium	Cristosporidiosis	Diarrea
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
Helminthos		
Trichuris trichiura	Trichuriasis	Gusanos
T. Solium	Teniasis	Tenia (cerdo)
Taenia saginata	Teniasis	Tenia (buey)
Hymenolepis nana	Hymenlepiasis	Tenia enana
Fasciola hepatica	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Gusanos
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Infestación de gusanos

Nota. (Metcalf & Eddy Inc., 1995).

2.2.2.- Sistemas de tratamiento de agua residual

(SINIA, 2018) indica que los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen el objetivo de purificar las aguas residuales hasta que se alcance la calidad solicitada para su reutilización; la estructuración del sistema de tratamiento se diseña en función a los usos posteriores fijados del efluente.

Existe 4 sistemas de tratamiento, los cuales son: pretratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y el tratamiento terciario.

2.2.2.1.- Tratamiento preliminar

Comienza con el caudal de entrada del agua a tratar y se extrae alrededor del 40 al 60% de sólidos, este pretratamiento es de carácter completamente mecánico.

Su objetivo es retener sólidos finos y gruesos con una densidad mayor que el agua y la arena, para facilitar su posterior procesamiento. Es frecuente el uso de canales con rejas finas y gruesas, desarenadores y, en situaciones específicas, tamices. Estos equipos,



son necesarios para evitar problemas que puedan ocasionar el ingreso de materiales como plásticos, residuos, arenas, etc., al propio proceso de tratamiento. A pesar de su importancia, algunas veces se obvia el diseño de estas unidades en las estaciones depuradoras de aguas residuales. (SINIA, 2018)

Las unidades de pre tratamiento más trascendentales son:

- Rejas
- Desarenadores

- ***Rejas***

(Lothar, 1979) señala que las rejas están conformadas por barras de metal rectas o curvas con distribución paralela, con espaciamiento equitativo, ubicados en forma transversal al flujo. La posición de estas unidades es previa al desarenador. El propósito es retener solidos gruesos, que estén flotando o suspendidas. Generalmente, las rejas son la primera unidad de los componentes de una PTAR.

Los criterios para el diseño de estas unidades se basan en:

- Velocidad de flujo que pasa por la reja
- Pendiente de las barras:
- Espaciamiento entre barras
- Espesores y longitud de las barras:
- Dimensiones del canal de rejas para limpieza manual
- Área transversal del canal de flujo
- Pendiente de canal
- Cuantía de barras



- ***Desarenadores***

Posterior a las rejillas están los desarenadores. El desarenador consiste en una cámara orientada a la reducción de la velocidad de agua residual y separación de sólidos minerales como la arena y otros, mediante la sedimentación (OS.090).

Son diseñados para apartar el agua de los minerales con diámetro de hasta 0.2 mm; empero, concurren residuos de alimentos con diámetros mayores, y para mitigar el mal olor es necesario el manejo adecuado del material extraído ya que contiene partículas orgánicas. En temporadas de lluvias se arrastra una cuantía considerable de arena, por ello se debe diseñar considerando la conducción eficiente del agua para estas condiciones, porque es cuando más se necesita de los desarenadores (Valdez & Vásquez, 2003).

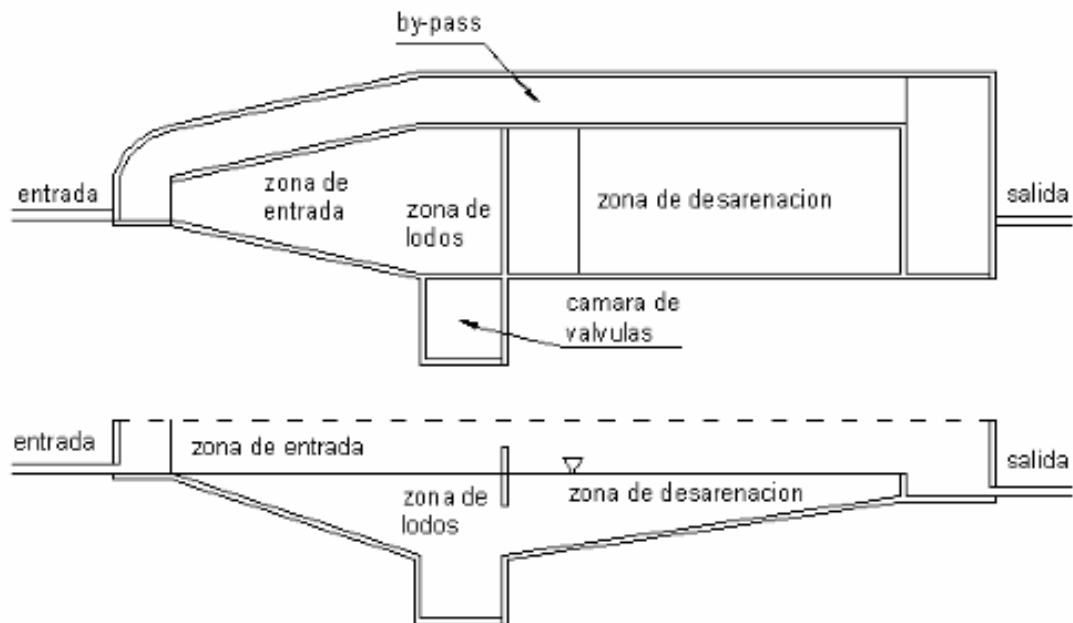
Se tiene 3 tipos de desarenadores, los cuales son: de vórtice, aireado y de flujo horizontal.

Desarenador de flujo horizontal:

Compuesto por cuatro secciones, tal como se visualiza en la Figura 2. Las partes que lo componen son la zona de entrada, zona de lodos, zona de desarenación y cámara de válvula.

Figura 2

Esquema de un desarenador (vista en planta y en corte longitudinal).



Los criterios para el diseño de un desarenador, son los siguientes:

- Cuantificación de unidades
- Área del desarenador
- Profundidad del agua vs caudal de la lámina líquida
- Velocidad de flujo
- Dimensionamiento del desarenador: longitud teórica
- Período de detención teórica
- Período de desplazamiento

2.2.2.2.- Tratamiento primario

La norma (OS.090) establece que, el objetivo en este tratamiento es remover los sólidos inorgánicos y orgánicos sedimentables, de tal forma que se reduzca la carga cuando pase al tratamiento biológico.



(SINIA, 2018) establece que el tratamiento primario faculta la remoción de material en suspensión, sin considerar materia disuelta o coloidal. La remoción logra quitar el 30 % de la DBO orgánica y del 60 % al 70 % en sólidos suspendidos del agua residual.

Las unidades de tratamiento primario son:

- Tanque Imhoff
- Tanque de sedimentación
- Tanque de flotación

En zonas rurales usualmente se utiliza como unidad de tratamiento primario: el tanque séptico, con disposición final por infiltración. En población de mediana densidad, el tanque Imhoff es el más empleado. (SINIA, 2018)

- ***Reactor Imhoff***

La norma sanitaria peruana (OS.090) lo define como tanques de sedimentación primaria donde en una sección de su parte inferior se acopia la digestión de lodos.

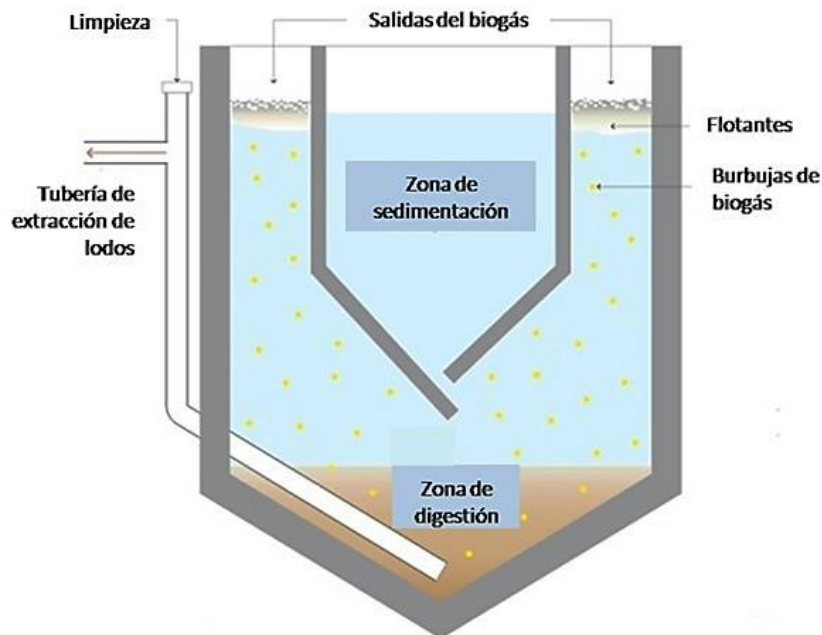
Su concepción data por 1906, desarrollado y patentado por el ingeniero alemán Karl Imhoff, es más eficiente que el tanque séptico en cuanto a remoción de material orgánico. El tanque tiene dos compartimientos que están interconectados, esto permite la sedimentación y la separación de espuma. El material que queda en la parte inferior pasa por un proceso de digestión anaeróbica de sólidos. (SINIA, 2018)

Según la OPS, indica que para poblaciones de 5000 habitantes o menos, estas unidades son adecuadas para tratar las aguas residuales domésticas, porque integran la digestión de lodos sedimentados y sedimentación del agua en el mismo tanque, es por eso que también se les conoce como tanque de cámara doble.

(Sálas, 2020) indica que durante la actividad que realiza el tanque Imhoff, ocurren procesos biológicos y físicos, tal como se visualiza en la Figura 3.

Figura 3

Esquema de un tanque Imhoff



Nota. (Sálas, 2020)

- Procesos físicos: El agua tratada ingresa a la zona de sedimentación y, bajo la acción de la gravedad, los sólidos pueden sedimentarse fuera de esta zona y acumularse como lodo en la zona de descomposición. Por otro lado, los materiales flotantes, incluidos grasas y aceites, se acumulan en la superficie de la zona de decantación, donde existen deflectores, a la entrada y salida, para evitar que estos materiales flotantes escapen a la superficie con las aguas residuales tratadas.
- Procesos biológicos: La materia orgánica del sólido sedimentable acumulado en la zona de descomposición sufre reacciones de descomposición anaerobia, se licua, reduce su volumen hasta en un 40% (EPA, 2002) y libera biogás químico, una mezcla de metano y dióxido de carbono.



En el proceso de funcionamiento, las aguas residuales se transportan mediante la cámara de sedimentación, es ahí que se remueve gran cantidad de sólidos sedimentables, se resbalan a través de las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación llegando a la cámara de digestión pasando por la ranura con traslape del fondo del sedimentador. La función del traslape es imposibilitar que las partículas suspendidas y obstruyan el proceso de sedimentación. Posteriormente, los gases y partículas que ascienden, producidos en ese proceso de digestión, son desviados hasta el área de ventilación o cámara de natas.

Para la limpieza, los lodos que se acumularon en el digestor se tienen que extraer periódicamente y son conducidos a lechos de desecación, posterior a ello se dispone el material, ya sea para uso de mejoramiento de suelos o simplemente enterrándolo.

Ventajas del uso del reactor Imhoff

- Es más eficiente que un tanque séptico, ya que contribuye a la digestión de lodo, y produce un líquido residual con características mejoradas.
- Salvo en casos excepcionales, en el líquido efluente no se descarga lodo.
- El lodo secado se extrae con mayor facilidad, debido a que la humedad es de 90 a 95%.
- En comparación con las lagunas, el tiempo de retención en el reactor Imhoff es menor.
- El costo de construcción y operación es relativamente bajo.
- Con respecto al área requerida para la construcción es menor comparada a las lagunas de estabilización que necesitan mayor espacio.



- Para poblaciones pequeñas donde no se precise una atención constante, estas unidades son las apropiadas.

Desventajas del tanque Imhoff

- La profundidad de estas estructuras son mayores a 6m.
- En cuanto a los olores, estas unidades pueden expulsar malos olores, aun cuando su operación sea correcta.
- La construcción, es dificultosa en arena fluida, en roca o cuando el nivel freático es alto, puesto que el tanque puede flotar o puede desplazarse al estar vacío.
- Como la remoción de coliformes y DBO es baja, se recomienda despachar el efluente hacia una laguna facultativa para que tenga una buena eliminación de microorganismos.

Principales consideraciones para el diseño del tanque Imhoff

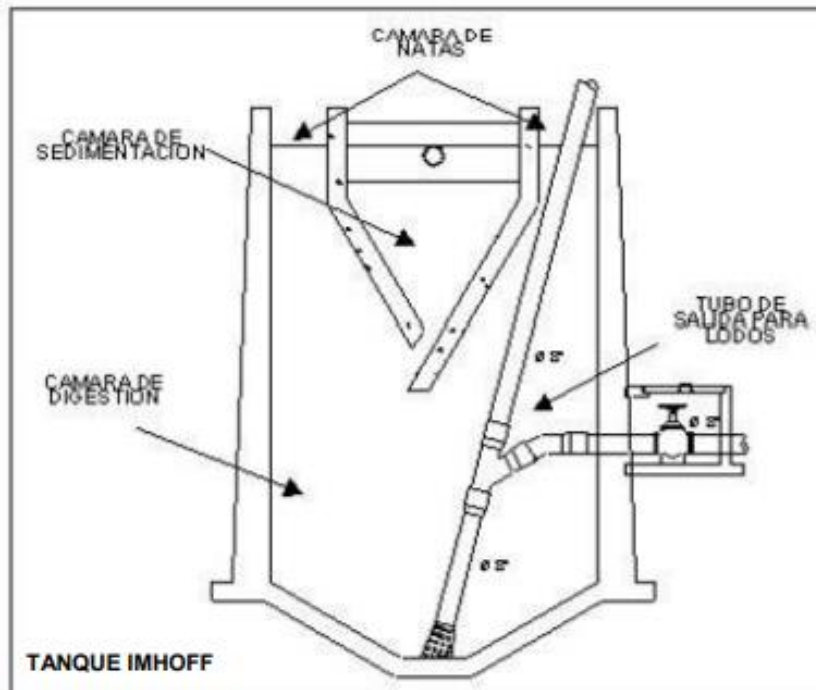
Para el dimensionamiento de tanque Imhoff se tomarán en cuenta los criterios de la Norma OS.090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Construcción.

La forma típica del reactor Imhoff es rectangular y tiene tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación: en esta unidad se remueve buena cantidad de sólidos sedimentables.
- Cámara de digestión de lodos: aquí se almacena y digiere los lodos.
- Área de aireación y acopio de natas:

Figura 4

Partes del reactor Imhoff



Nota. OPS/CEPIS/05.163 UNATSABAR

Adicional a los compartimentos mostrados, se debe diseñar el lecho de secados de lodos.

a) Diseño del sedimentador

- Caudal de diseño “ Q_p ” (m^3 /hora)

$$Q_p = \frac{\text{Poblacion} \times \text{Dotacion}}{1000} \times \% \text{Contribucion}$$

Donde: La dotación está expresado en litros/hab/día.

- Área del sedimentador “ A_s ” (m^2).



$$As = \frac{Qp}{Cs}$$

Donde:

- Qp: caudal de diseño (m³ /h)
- Cs: Carga superficial de 1 m³ (m² *h).
- Volumen del sedimentador “Vs” (m³).

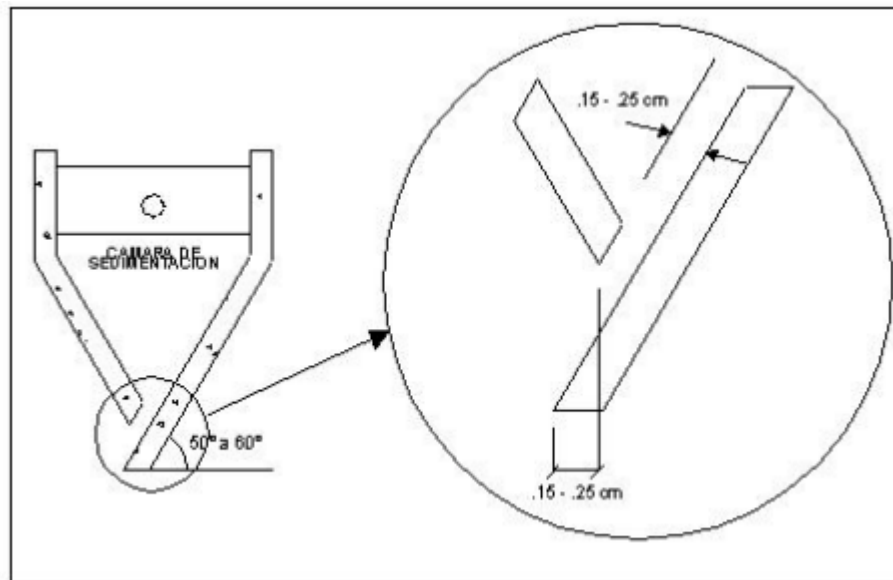
$$Vs = Qp * R$$

Donde:

- R: período de retención hidráulica, preferiblemente 2 horas.
- La sección transversal del fondo del tanque debe tener forma V, pendiente entre 50° y 60°.
- Dejar una abertura de 0.15 a 0.20 m en la arista central para el transporte de sólidos removidos hacia el digestor.
- Prolongar uno de los lados en 15 cm o 20 cm, de tal forma que no permita el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador. Lo indicado se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Extensión del vertedero de salida hacia el sedimentador



- Longitud mínima del vertedero “ L_v ” (m).

$$L_v = \frac{Q_{\max}}{Ch_v}$$

Donde:

- Q_{\max} : Caudal máximo diario de diseño (m^3 /día).
- Ch_v : Carga hidráulica sobre el vertedero ($m \cdot \text{día}$).

b) Diseño del digestor

- Volumen de almacenamiento y digestión “ V_d ” (m^3).

El cálculo de almacenamiento y de la cámara inferior donde ocurre la digestión de lodos, se realiza de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 6

Valores para el factor de capacidad relativa

Temperatura (°C) Propiedades Físicas	Factor de capacidad relativa (f_{cr})
>25	0.5
20	0.7
15	1.0
10	1.4
5	2.0

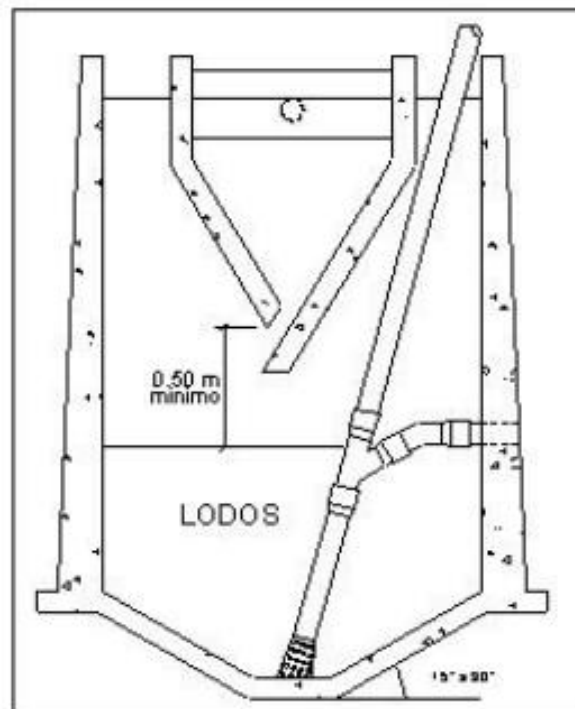
$$Vd = \frac{70 * P * f_{cr}}{1000}$$

Donde:

- P: población.
- f_{cr} : factor de capacidad relativa, obtenido de la Tabla 6.

Figura 6

Detalle de la sección de lodos en el reactor Imhoff





- La forma del fondo de la cámara de digestión debe ser pirámide troncal invertida, esta forma coadyuvará la extracción de lodos digestionados.
- La pendiente de las paredes laterales debe estar entre 15° a 30° respecto del plano horizontal.
- La máxima altura de lodos debe estar 0.50 m por debajo de la base del sedimentador.
- Digestión de lodos vs tiempo

El tiempo necesario para la digestión de lodos va acorde a la temperatura, como se verifica en la Tabla 7.

Los lodos que hayan pasado la digestión deben retirarse periódicamente, asimismo la periodicidad de retiro de lodos debe realizarse de acuerdo a los datos mostrados en la tabla 7.

Tabla 7

Tiempo requerido para la digestión de lodos

Temperatura (°C) Propiedades Físicas	Tiempo de digestión (días)
>25	30
20	40
15	55
10	76
5	110

c) Extracción de lodos

- La tubería de remoción de lodos debe tener un diámetro mínimo de 200 mm, además se debe localizar 15 cm por encima del fondo del reactor.
- La carga hidráulica mínima para lograr la remoción debe ser 1,80 m.

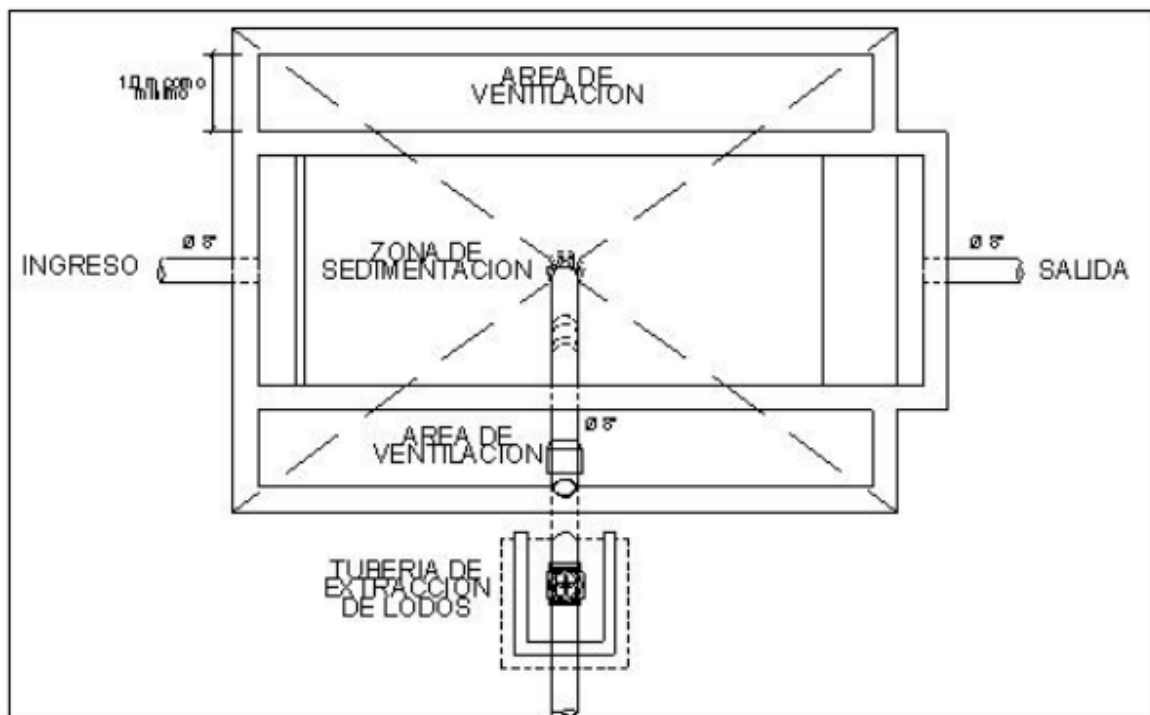
d) Área de ventilación y cámara de natas

En el diseño de la superficie libre entre el sedimentador (zona de natas o espumas) y las paredes del digestor, se debe considerar lo siguiente:

- El borde libre deberá ser mínimo 0.30 cm.
- El espaciamiento libre deberá ser mínimo 1,0 m.
- La superficie libre total deberá ser al menos 30% de la superficie total del tanque.

Figura 7

Vista en planta de los componentes del reactor Imhoff



2.2.2.3.- Tratamiento secundario

La norma (OS.090) establece que son los procesos biológicos cuyo fin es remover eficientemente el DBO mayor al 80%, además este parámetro puede ser de biomasa adherida o biomasa en suspensión.



En el tratamiento secundario se distingue el trabajo de los microorganismos presentes en el agua residual. La ausencia o presencia de oxígeno disuelto en el agua residual, separa en dos grupos de actividad biológica, los de la actividad anaerobia (sin oxígeno) y los de la actividad aerobia (con oxígeno). (Metcalf & Eddy Inc., 1995)

(SINIA, 2018) establece que los sistemas más utilizados en este nivel de tratamiento son:

- Lagunas de estabilización (facultativas y aireadas)
- Filtros biológicos, biofiltros, filtros percolares, filtros rotatorios o biodiscos.
- Lodos activados (convencionales y de aireación extendida)
- Adicionalmente la norma OS.090 incluye a los módulos rotatorios de contacto.

- ***Lagunas de estabilización.***

Las lagunas de estabilización son depósitos de aguas servidas que permiten la generación de microorganismos aeróbicos y anaerobios, para efectuar la estabilización y desinfección de las aguas haciéndolas inocuas a la salud, por lo tanto, utilizables para otras actividades, (Ayala Fanola & Gonzales Márquez, 2008).

- ***Filtros percoladores:***

Los filtros percoladores han sido utilizados para el tratamiento biológico de agua residual por casi 100 años. Los últimos filtros percoladores modernos están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995).

- ***Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).***

El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación de gas-liquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y



favorece la evacuación del gas. Las unidades son tapadas para facilitar la recolección del gas que se genera en este proceso anaerobio, (Ayala Fanola & Gonzales Márquez, 2008).

- ***Lodo activado convencional***

Constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aireación, (011-2012-VIVIENDA, 2012).

- ***Biodiscos.***

Los biodiscos son reactores de biomasa fija con discos que giran sobre un eje. La biomasa tiene dos etapas continuas de contacto: con el agua y con el aire (alimentación y respiración). Es un proceso económico, muy empleado en pequeñas instalaciones y, con una desinfección posterior del efluente generado, suele bastar para la reutilización de las aguas, (LOZANO RIVAS, 2012).

- ***Filtro anaerobio***

Es un sistema complementario al tanque de decantación-digestión, altamente eficiente. Puede lograr reducciones de entre un 50 a 70% de DBO, sobre la remoción lograda previamente en el tanque séptico. Consiste en un tanque o cámara cerrada, compuesta por un lecho de grava y gravilla en donde el afluente proveniente del tanque séptico pasa de manera ascendente, a través de los intersticios y la película biológica que se forma sobre la superficie de este material granular, realiza un trabajo de digestión y reducción anaerobia, (LOZANO RIVAS, 2012).



- ***Humedales***

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar, (Ayala Fanola & Gonzales Márquez, 2008).

2.2.2.4.- Tratamiento terciario

Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico química-biológica, o sea, que son procesos por los cuales se le da un pulimento alto al agua. Las metas de tratamiento varían de acuerdo al reúso que se le pretenda dar a estas aguas. Normalmente el tratamiento terciario es para remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua.

Generalmente no se utiliza el tratamiento terciario para aguas residuales municipales, a menos que el reúso de las aguas tenga alguna aplicación en la industria y en algunos casos en protección de un área ecológica sensitiva.

Para la norma (011-2012-VIVIENDA, 2012), es un proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- Remoción de sólidos en suspensión (microbiano, clarificación química, filtración, etc).
- Remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc).



- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, osmosis inversa, precipitación química, etc).
- Remoción de nutrientes (nitrificación-des nitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación. etc).

Desinfección

Cuando se descargan aguas residuales tratadas en cuerpos de agua que van a utilizarse, o que pueden ser utilizados como fuentes de abastecimiento público, o con propósitos recreativos, se requiere un tratamiento suplementario para destruir las bacterias, y minimizar riesgos para la salud humana debido a la alta contaminación de las aguas, tal tratamiento se conoce como desinfección. Si se utiliza una tecnología distinta a las lagunas de estabilización debe evaluarse la necesidad de utilizar este proceso en función al impacto en los usos del cuerpo receptor de los efluentes o al reúso de las aguas residuales. Existen varios métodos de desinfección:

- **Físicos**, tales como: filtración, ebullición, rayos ultravioletas.
- **Químicos**, aplicación de: cloro, bromo, yodo, ozono, iones plata, etc.

Cloración

El cloro y sus derivados son indudablemente los compuestos más importantes que existen para la desinfección del agua, dado su amplio uso, además se utilizan para:

- Eliminar olores.
- Decolorar.
- Ayudar a evitar la formación de algas.
- Ayudar a la oxidación de la materia orgánica.
- Ayudar a eliminar las espumas en los decantadores.



2.2.3. Criterios generales para seleccionar alternativas de tratamiento de aguas residuales

Los diferentes tipos de tratamiento de las aguas residuales se han desarrollado en forma sencilla y general hacia dos propósitos: La captación y separación de los sólidos de acuerdo a su sedimentabilidad y la estabilización biológica de los sólidos restantes; la magnitud de estos propósitos dependerá del tipo de tratamiento empleado (STERLING,1987). Según Souza (1997) la selección de tecnologías para la recolección y tratamiento de las aguas residuales deberá considerar, cada vez en mayor medida, alternativas que incluyan el reúso del agua. A continuación, se presentan criterios para la selección de un sistema de tratamiento (Lettinga & Hulshoff, 1995).

El método debe proveer una eficiencia de tratamiento en la remoción de varias categorías de contaminantes: Materia orgánica biodegradable (DBO), amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, fosfatos, patógenos.

- La estabilidad del sistema respecto a interrupciones en la fuente de energía, picos de carga, interrupción en la alimentación y/o contaminantes tóxicos debe ser alta.
- La flexibilidad del proceso debe ser alta, con respecto a la escala a la cual es aplicada, posibilidades de ampliación y posibilidad de mejorar la eficiencia.
- El sistema debe ser simple en su operación, mantenimiento y control ya que una buena operación no debe depender de la presencia de operadores e ingenieros experimentados.
- El requerimiento de área debe ser bajo, en especial cuando no está disponible y/o el precio es alto.
- El número de etapas de procesos requeridos debe ser lo más bajo posible.
- El tiempo de vida del sistema debe ser largo.



- La aplicación del sistema no debe sufrir ningún problema en la disposición del lodo.
- La aplicación del sistema no debe ser acompañado con mal olor y problemas de malestar en la gente.
- El sistema debe ofrecer buenas posibilidades para recuperar subproductos útiles en irrigación y fertilización.
- Es recomendable disponer de experiencia suficiente en el manejo del sistema.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

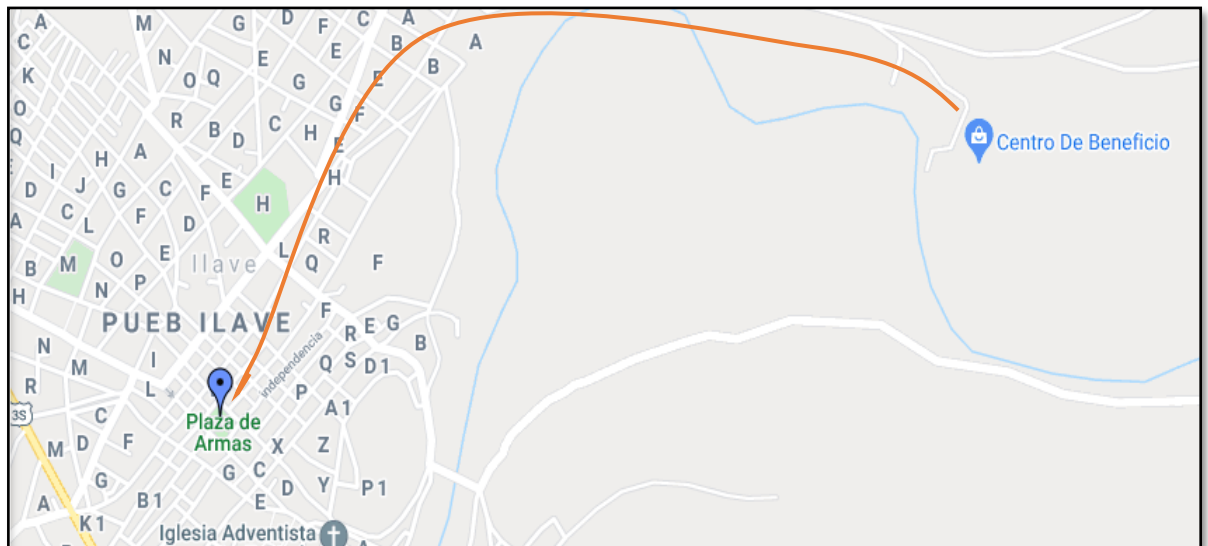
3.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del camal municipal de Ilave, provincia de Ilave, departamento de Puno.

La PTAR está localizada al lado este de la plaza central del distrito de Ilave, a una distancia de 1.50 Km aproximadamente. Geográficamente está ubicado al sur este del Perú, en la meseta del Collao, a unos 50 Km de la ciudad de Puno tal como se aprecia en la figura N° 6. Se observa al investigador en la figura N° 7.

Figura 8

Ubicación de la PTAR con respecto a la localidad de Ilave



Nota. Imagen obtenida de Google Maps.

Figura 9

Centro de beneficio (Camal) Ilave



Nota. Se observa al investigador presente en la PTAR del camal municipal de Ilave

3.1.1.1.- Altitud

La PTAR del camal municipal Ilave está 3850 m.s.n.m., en las coordenadas GWS este 434092.156 y Norte 8221920.265.

3.1.1.2.- Clima y Temperatura

El clima durante todo el año de la ubicación geográfica de la PTAR en estudio es propio del altiplano: frígido, seco y templado, estas condiciones especiales se presentan durante todo el año, por la presencia del Lago Titicaca, teniendo ligeras variaciones de acuerdo a cada estación. Su temperatura promedio fluctúa entre los 8 °C y 15 °C, la

precipitación anual promedio, según la estación meteorológica del mismo distrito es del orden de 725 mm.

3.2.- PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La duración de la presente investigación fue comprendida entre febrero del 2021 hasta junio del 2021.

3.3.- MATERIALES DE ESTUDIO

3.3.1.- Componentes actuales

La planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de la localidad de Ilave, tiene en la actualidad un sistema de tratamiento Preliminar, primarios y secundarios para la remoción de materia orgánica, en esta parte identificaremos cada uno de los componentes tal como se encuentra y el sistema que tiene para su posterior evaluación. En la figura 5. Se muestra el sistema actual de la planta de tratamiento.

Figura 10

Componentes actuales de la PTAR Camal Municipal Ilave



Nota. Se observa al investigador tomando medidas de los componentes actuales de la PTAR de estudio

A continuación, describimos los componentes existentes de la PTAR del Camal Municipal Ilave:

Tratamiento preliminar.

- Tanque de Regulación.
- Cámara de rejas.
- Desarenador horizontal.

Tratamiento primario.

- Tanque Imhoff.

Como único componente del tratamiento primario se tiene un tanque Imhoff, el cual es el componente principal de remoción de materia orgánica del sistema de tratamiento del PTAR del Camal Municipal de Ilave. Se observa la zona de sedimentación, natas y el ingreso del afluyente de manera directa a este componente sin ningún tratamiento preliminar.

Figura 11

Imagen Actual Tanque Imhoff



Nota. Vista frontal y lateral del reactor Imhoff.

Tratamiento secundario.

- Laguna de maduración.

Figura 12

Sistema de la planta de tratamiento actual.



3.3.2.- Descripción del sistema actual

Esta investigación es de tipo descriptivo debido a que a lo largo del contenido se describe el estado actual en el que se encuentra la planta de tratamiento del camal municipal además se muestra con imágenes y respectivas dimensiones.

3.3.2.1.- Pre tratamiento

El pretratamiento de la Planta consta de cámara de rejillas y desarenador.

Tanque de regulación: Se tienen como primer como componente de tratamiento preliminar se tiene un tanque de regulación lo cual no viene funcionando por el mal planteamiento ya que esta infraestructura se requiere para sistemas de bombeo.

Figura 13

Imagen Actual del Tanque de Regulación



Cámara de rejas: Está ubicada al inicio del sistema de tratamiento, y es el segundo componente del pre tratamiento de las aguas residuales. Componente encargado de separación de sólidos, esta cuenta con un by - pass, canal de 15 x 60 cm, sin embargo, le faltan las barras inclinadas para el separado de sólidos.

Figura 14

Imagen cámara de rejás existente



Fuente: Elaboración propia

Desarenador Horizontal: este componente está ubicado después de la cámara de rejás y antes del tanque Imhoff dicho componente es utilizado para la separación de sólidos como arenas. consta de dos unidades en paralelo.

Figura 15

Imagen desarenador existente

Imagen desarenador existente



Nota. Se observa el mal estado de limpieza actual de este componente.

3.3.2.2.- *Tratamiento primario*

Tanque Imhoff. - Este componente está ubicado después del desarenador y antes de la laguna, dicho componente es utilizado para la digestión del lodo y sedimentación del agua residual. Consta de una cámara de sedimentación y una cámara de digestión del lodo.

Es el componente principal o núcleo del sistema de tratamiento de agua residual del PTAR del camal Ilave.

Figura 16

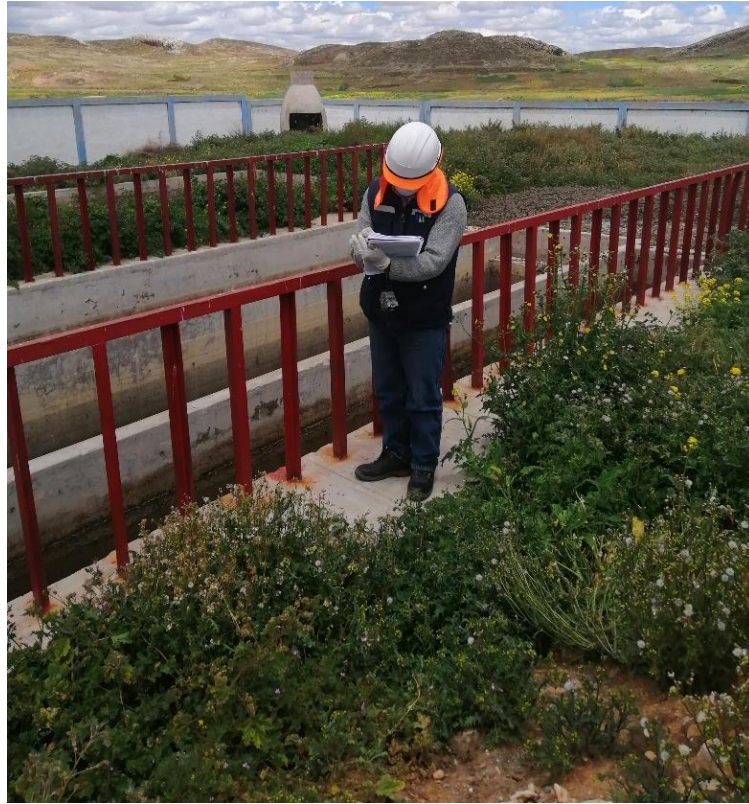
Imagen Actual Tanque Imhoff



De la misma forma cuenta con barandas de seguridad por los laterales, por lo que faltaría la implementación del puente para la zona de limpieza con barandas en todo el perímetro, no se observa el sistema de tuberías para la extracción de lodos de la zona de sedimentación.

Figura 17

Imagen actual tanque Imhoff, vista lateral



3.3.2.3.- *Tratamiento secundario.*

Laguna de maduración. – En este componente no se identifica el tipo de laguna, está ubicado después del tanque Imhoff y es el último componente del sistema de tratamiento que después de esta unidad las aguas tratadas son vertidas al río Ilave sin ningún tratamiento previo, dicho componente es un proceso abierto en el cual el agua pasa a través de una cuenca, construida especialmente para tratar aguas residuales y residuos industriales biodegradables por procesos naturales que implican bacterias y algas.

Figura 18

Imagen actual Laguna de Maduración, vista lateral



A través de una tubería de PVC el agua se evacua de la Laguna de maduración al cuerpo receptor, identificándose con los trabajos de excavación y limpieza de la zona hasta encontrar el punto de salida del agua tratada y que luego será entregado al río Ilave.

Figura 19

Excavación y preparación para muestreo de agua del efluente



Se observa el punto de entrega y se verifica un ambiente contaminado, además se aprecia los olores del agua residual, en la figura 15 se observa la situación actual en la que el efluente descarga al río Ilave.

Figura 20

Imagen del punto de entrega al cuerpo receptor





3.3.3.- Población y muestra de estudio

3.3.3.1.- Población

Para la presente investigación la población de la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal los siguientes parámetros según el MINAM, en la que opera los 6 días de la semana en un horario promedio de 8:30am a 1:30 pm con días regulares.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales
- Nitrógeno (Amoniac) (NH₃-N)
- Turbidez
- Aceites y Grasas
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Color
- Sólidos Suspendidos Totales
- pH
- Temperatura

3.3.3.2.- Muestra

La muestra con la que se trabajó en la presente investigación 3 muestras de la semana considerando los días en el que se realiza más beneficio y un día regular; el número de muestreo se realizó 03 en el afluente de la PTAR y 03 en el Efluente para determinar los 10 parámetros en cada uno.



3.4.- METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1.- Metodología de investigación

La metodología de investigación se realizó en cuatro etapas:

- Etapa preliminar: se consultó material bibliográfico sobre tratamientos de aguas residuales municipales e industriales.
- Etapa de campo: levantamiento de información in situ de las características, de los componentes de la PTAR, evaluación funcional y análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.
- Etapa de laboratorio: en la que se analizó las muestras obtenidas del afluente y efluente.
- Etapa de gabinete: se hizo el procesamiento de datos de los resultados obtenidos, añadido a ello se redactó el presente documento.

3.4.2.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada se realizó mediante visitas a entidades públicas involucradas con el Centro de Beneficio cárnico de la municipalidad provincial de Ilave, luego con el permiso otorgado se realiza la primera inspección y reconocimiento de los componentes de la PTAR del camal municipal de Ilave, para luego recopilar información en campo, conjuntamente con el personal administrativo del Camal municipal, monitoreos de agua residual, intervenciones y otros estudios complementarios.

Así mismo también se realizó la verificación en campo y determinación del área del predio destinado para la PTAR.

Las actividades realizadas describimos a continuación.

- Visita y coordinación con la administración del Camal municipal, reconocimiento de las infraestructuras que componen el PTAR del Camal municipal Ilave.

Figura 21

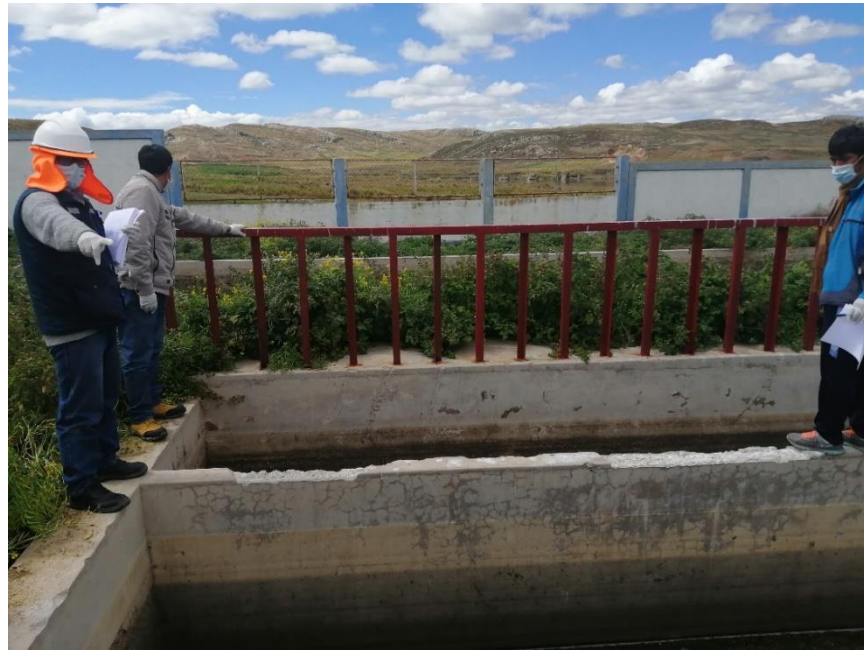
Coordinación con el personal administrativo del Camal



Nota. Se verifica la presencia de los administradores y el investigador.

Figura 22

Reconocimiento de los componentes de la PTAR del camal Ilave



- Trabajos preliminares y preparación para muestreo de agua residual en el afluente y efluente de la PTAR del Camal Municipal Ilave.

Figura 23

Punto de muestreo y aforo del afluente del PTAR



Figura 24

Punto de muestreo del efluente del PTAR



Se realizó el muestreo de agua residual en el afluente y efluente para determinar la eficiencia de tratamiento de esta PTAR, durante 03 días con los protocolos de monitoreo e indicaciones del laboratorio “Bhios” de la ciudad de Arequipa.

- Aforo del efluente por el método volumétrico.

Figura 25

Punto de aforo del afluente del PTAR



Figura 26

Preparación de Materiales para el muestreo y aforo en el afluente



Figura 27

Preparación de Materiales para Muestreo de agua residual



- Obtención de parámetros in situ que corresponde a temperatura y pH con equipo multiparamétrico de acuerdo a las indicaciones y recomendaciones del laboratorio solicitado.

Figura 28

Medición de pH y temperatura de la muestra in situ



- Etiquetado y Envase de las muestras en cada uno de los frascos conforme a las indicaciones del laboratorio solicitado.

Figura 29

Envasado-colocado al cooler para su mantenimiento de temperatura



- Este procedimiento se repite en las muestras M1, M2, M3, M4, M5 y M6 tanto en el afluente y efluente.

Figura 30

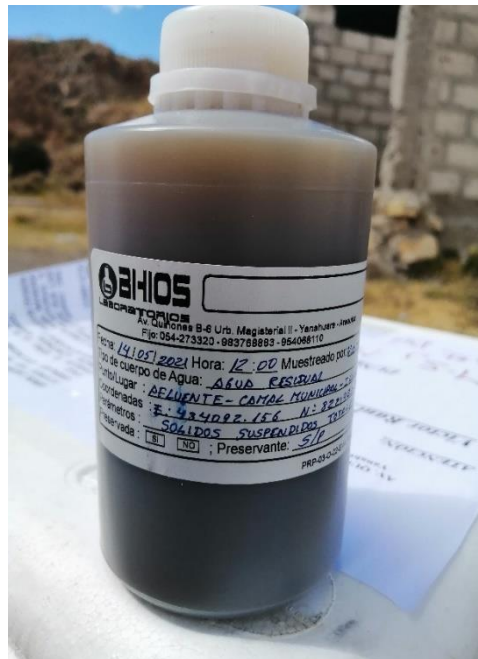
Muestreo y llenado de envases del efluente de la PTAR.



- Colocación de los envases en el contenedor con bolsas refrigerantes y llenado de datos en las etiquetas de cada uno de los envases según los parámetros solicitados, en donde indica las coordenadas hora y personal responsable.

Figura 31

Etiquetado de los envases



- Verificación de las tapas de seguridad de los envases y secado de los frascos de vidrio y plástico.

Figura 32

Etiquetado y rotulado de envases.



- Empaquetado de muestras y preparación para el envío hacia el laboratorio.

Figura 33

Colocado de muestras al contenedor y transporte



Se realizó también la consulta a los administradores y trabajadores del centro de beneficio del mantenimiento y operación de la PTAR los cuales desconocen sobre la operación y funcionalidad, sin embargo, colaboraron con los trabajos que se realizaron.

Con el objetivo de determinar el diseño y dimensionamiento hidráulico se procedió con el levantamiento de las dimensiones de cada una de las infraestructuras existentes del PTAR.

Figura 34

Medición de las dimensiones del sistema de pretratamiento.



Figura 35

Medición de las dimensiones del sistema del Tanque Imhoff.



Figura 36

Medición de la altura Tanque Imhoff



Figura 37

Dimensionamiento de Laguna de Maduración de la PTAR



3.4.3.- Procesamiento de información

Las muestras obtenidas de la PTAR son enviados al laboratorio Bhios de la ciudad de Arequipa el cual cuenta con acreditación con INACAL, quienes realizan los ensayos y obtendrán el informe de acuerdo a los métodos mencionados en cada informe.

De las dimensiones obtenidas en campo, así como largo ancho y profundidades, se obtiene planos de levantamiento de cada infraestructura existente reflejados en anexos.

Luego de la recepción de los informes del laboratorio, se realiza el resumen de los parámetros de cada muestra del afluente y efluente determinando así la eficiencia de remoción de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Municipal de Ilave.

Con los datos obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del informe del laboratorio, considerando las muestras representativas se procede el planteamiento de los nuevos componentes del tren de tratamiento.

Con los datos representativos se procede con el cálculo y dimensionamiento de los componentes del nuevo sistema planteado en hojas Excel.

Finalmente se determina la eficiencia de tratamiento con los resultados de los ensayos por día, se determina si las dimensiones son adecuadas para el caudal del Camal Municipal y parámetros representativos.

3.5.- ANÁLISIS Y REGISTRO DE INFORMACIÓN

3.5.1.- Datos de diseño

Para Para los datos de diseño se han considerado los resultados obtenidos del análisis de agua y la evaluación y verificación de la planta de tratamiento de agua residual de camal Ilave.

Caudal de diseño de para la nueva PTAR del camal municipal de Ilave: para esta información se ha aforado con el método volumétrico en los días en que se realizó el muestreo, obteniéndose un promedio máximo horario de 0.6 L/s que equivale a 51.8 m³/día. y un caudal promedio de 0.45 L/s.

Tabla 8

Aforo de agua en afluyente. Día 01

DÍA 01			
No	tiempo (s)	volumen (L)	Q (L/s)
1	5.80	0.95	0.16
2	5.20	2.10	0.40
3	8.00	3.91	0.49
4	11.00	4.60	0.42
5	10.00	4.50	0.45



Tabla 9

Aforo de agua en afluente. Día 02.

DÍA 01			
No	tiempo (s)	volumen (L)	Q (L/s)
1	8.20	4.50	0.55
2	8.00	4.83	0.60
3	8.30	5.00	0.60
4	8.00	4.00	0.50
5	8.20	4.51	0.55

Tabla 10

Aforo de agua en afluente. Día 03.

DÍA 01			
N°	tiempo (s)	volumen (L)	Q (L/s)
1	10.00	3.60	0.36
2	9.00	4.20	0.47
3	9.40	4.70	0.50
4	10.00	3.80	0.38
5	10.10	3.91	0.39

Potencial de hidrogeniones (pH) Para esta información se ha obtenido in situ en los días en que se tomó la muestra obteniéndose un pH 7.93 como valor máximo y crítico.

Temperatura (T°) Para esta información se ha obtenido in situ en los días en que se tomó la muestra obteniéndose una temperatura de diseño y crítico de 14.6°C.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Esta información es obtenido en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un valor representativo para el diseño hidráulico de 617 mg/L.

Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales. Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 2100000000 NMP/100ml.



Nitrógeno (Amoniac) ($\text{NH}_3\text{-N}$). Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 103.61 mg/L.

Turbidez. Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 1946 NTU.

Aceites y grasas. Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 17.20 mg/L.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Esta información es alcanzada por el laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 2985 mg/L.

Color. Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 248 U color.

Sólidos Suspendidos Totales. Esta información es obtenida en laboratorio en que se tomó la muestra obteniéndose un promedio de 1500 ml/L.

Tabla 11

Parámetros físicos químicos y microbiológicos de diseño

Lab	Determinación	Unidad	Afluente			Parámetro
			M1	M3	M5	Crítico/Diseño
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	2.1×10^{10}	1.7×10^4	7.9×10^9	2.1×10^{10}
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	453.00	379.00	617.00	617.00
FQ	Turbidez	NTU	349.00	116.00	1946.00	1946.00
FQ	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	174.00	168.00	1500.00	1500.00
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	4.90	8.20	17.20	17.20
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	854.00	935.00	2985.00	2985.00



FQ	Nitrógeno (Amoniac) NH ₃ - N	mg/L	50.11	103.61	48.63	103.61
FQ	Color	U color	235.00	248.00	188.00	248.00
FQ	Temperatura °T	°C	10.00	13.60	14.60	14.60
FQ	Potencial de hidrogeniones PH		7.93	7.41	7.81	7.93

La Tabla 11 presenta los resultados del análisis de agua residual de 03 muestras en el afluente, para el diseño se considera los valores críticos quiere decir los valores máximos, considerando que la planta de tratamiento de agua residual propuesto debe tener la capacidad de depurar estos parámetros.

3.5.2.- Evaluación y análisis técnico de datos de campo

De los datos obtenidos en campo se verifica que los componentes del sistema de tratamiento de agua residual son incompletos, y las dimensiones no son de acuerdo al caudal de diseño por lo que están sobre dimensionados por lo que no cumplen con el objetivo de tratamiento cada una de los componentes.

En cuanto al pretratamiento las cámaras de rejillas y desarenadores no se encuentran en funcionamiento por lo que el efluente llega directamente al tanque Imhoff, este problema es por la diferencia de cotas del emisor de agua residual y el ingreso a la cámara de rejillas.

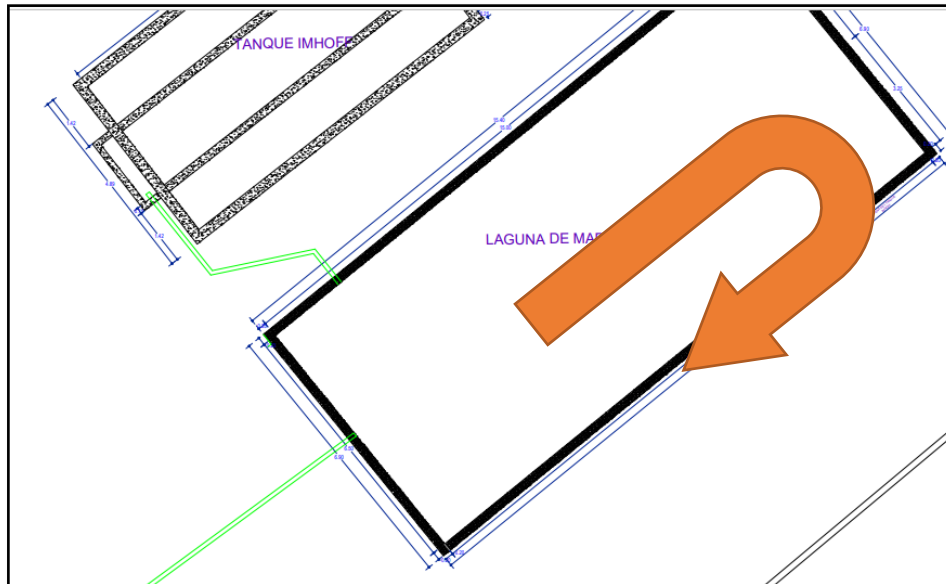
El tanque Imhoff existente no está diseñada con el caudal de máximo promedio por lo que este componente tiene dimensiones de 4.89m de ancho, 8.82m de largo y una profundidad de 5.05m. además carece de un manual de operación y mantenimiento, hay ausencia de tubería para extraer lodo ni cuenta con llaves de control para su operación.

En cuanto a la laguna se aprecia de forma rectangular saturada de lodo por lo que se determina que no cumple con la finalidad por el mal ubicación de esta, hay presencia

de zonas muertas por la forma en la que se aprecia la tubería de ingreso y salida de este componente.

Figura 38

Laguna de maduración con zonas muertas



A los componentes de la PTAR descrito y visto los resultados superiores a los límites máximos permisible, requiere añadir y mejorar los componentes para su eficiencia.

3.5.3.- Cálculo y evaluación del PTAR

3.5.3.1.- Aspectos legales para establecer los criterios de calidad de aguas residuales tratadas.

La Ley 30045 - Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento y su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2013-VIVIENDA, establece la responsabilidad de las Empresas Prestadoras de Servicio con respecto al tratamiento de las aguas residuales. La Ley en su Artículo 15. Gestión ambiental y de recursos hídricos indica: “Los prestadores de servicios de saneamiento promueven la implementación de tecnología de tratamiento de aguas residuales favorables al ambiente, evitando la



contaminación de las fuentes receptoras de agua cumpliendo con los límites máximos permisibles y estándares de calidad ambiental aplicables, de acuerdo a ley”.

De la lectura de este artículo se deduce que no es responsabilidad de la EPS contribuir con la implementación de sistema de producción agrícola. Sin embargo, de acuerdo con el inciso 2 del Artículo 15 expresa: “Los prestadores de servicios de saneamiento quedan facultados a comercializar los residuos sólidos generados en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano y plantas de tratamiento de aguas residuales, así como el servicio de tratamiento de aguas residuales tratadas, con fines de reúso, cumpliendo con las normas vigentes y de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Reglamento de la presente Ley”.

A su vez, el Reglamento en el Título II Competencias Sectoriales, Funciones y Relaciones Interinstitucionales en la Modernización de los Servicios de Saneamiento, Artículo 5.- Funciones institucionales y obligaciones para la modernización de los servicios, acápite 5.4.5 establece para las Empresas Prestadoras de Servicio “Implementar tecnologías de tratamiento de aguas residuales favorables al medio ambiente, a fin de evitar la contaminación de las fuentes receptoras de agua para cumplir con los LMP y ECA”. Así mismo, en el Artículo 6.- Facultades específicas de las EPS en el marco de la Ley, expresa que “En mérito a la Ley, y en adición a las dispuestas por el marco legal vigente, las EPS tienen las facultades específicas siguientes:

1. Ejercer la facultad para comercializar residuos sólidos generados en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano y en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. Brindar el servicio de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso, de acuerdo a la normativa legal vigente.”

En el Subcapítulo IV Gestión Ambiental, Social y de Recursos Hídricos, artículo 31.- Tratamiento de aguas residuales indica: “El tratamiento de aguas residuales a cargo de las EPS deberá cumplir con las normas que establecen los LMP y ECA para la disposición final en cuerpos receptores. Para el cumplimiento de dichos LMP y ECA, las EPS implementarán tecnologías de tratamiento favorables al ambiente”.

Finalmente, en su Artículo 32.- Comercialización de agua residual tratada y residuos sólidos indica el procedimiento para la suscripción del contrato.

Calidad de las aguas residuales tratadas

El Decreto Supremo 003-2010-MINAM del 17 de marzo de 2010, establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). El Límite Máximo Permisible (LMP) es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y por los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. En el cuadro 3.1 se presentan los valores máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

Tabla 12

Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5



Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010 MINAM

Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Inicialmente, el Decreto Supremo 002-2008-MINAM del 31 de julio de 2008 y posteriormente el Decreto Supremo 015-2015-MINAM del 19 de diciembre de 2015, aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua. Este dispositivo tiene la finalidad de establecer niveles de concentración o grados de elementos, sustancias o parámetros físicos químicos y biológicos presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representan riesgo significativo a la salud de las personas ni al ambiente. El dispositivo legal presenta las siguientes calificaciones:

Categoría 1.- Poblacional y recreacional

Sub categoría A.- Aguas superficiales destinadas a producción de agua potable

- A1.- Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
- A2.- Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
- A3.- Aguas que pueden ser potabilizadas con Tratamiento Avanzado

Sub categoría B.- Aguas superficiales destinadas para recreación

- B1.- Contacto primario
- B2.- Contacto secundario

Las determinaciones analíticas están compuestas por los siguientes grupos:

- Físicos químicos



- Inorgánicos
- Orgánicos
- Compuestos orgánicos volátiles
- Hidrocarburos aromáticos
- Plaguicidas
- Organofosforados
- Organoclorados
- Carbamatos
- Microbiológicos

Categoría 2.- Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales

- C-1.- Extracción y cultivo de mariscos bivalvos en agua marino costeras.
- C-2.- Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en agua marino costeras.
- C-3.- Otras actividades en aguas marino costeras.
- C-4.- Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

Las determinaciones analíticas están compuestas por los siguientes grupos:

- Organoléptico
- Físicos químicos
- Inorgánicos
- Orgánicos
- Microbiológicos

Categoría 3.- Riego de Vegetales y Bebida de Animales



- D-1.- Riego de vegetales tallo bajo y alto.
- D-2.- Bebida de animales

Las determinaciones analíticas están compuestas por los siguientes grupos:

- Físicos químicos
- Inorgánicos
- Orgánicos
- Plaguicidas
- Biológicos

Categoría 4.- Conservación del ambiente acuático

- Sub categoría E- 1.- Lagos y lagunas
- Sub categoría E- 2.- Ríos de costa y sierra
- Sub categoría E- 3.- Ríos de selva
- Sub categoría E- 4.- Ecosistemas marinos costeros – Estuarios
- Sub categoría E- 5.- Ecosistemas marinos costeros - Marinos

Las determinaciones analíticas están compuestas por los siguientes grupos:

- Físicos
- Inorgánicos
- Microbiológico

Calificación de los cursos y cuerpos de agua

La Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA de la Autoridad Nacional del Agua publicado el 22 de marzo de 2010, califica los cuerpos de agua superficiales y marino costeros del Perú, es decir a los cursos y cuerpos de agua continentales y marítimas.



Esta clasificación está basada en los Estándares de Calidad de Agua (ECA) indicados anteriormente, y al efecto para cada curso o cuerpo de agua del país se ha establecido una determinada calificación teniendo en cuenta las categorías normadas en el Decreto Supremo 015-2015-MINAM del 19 diciembre de 2015, que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua.

Calidad de descargas a sistemas de alcantarillado

El Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA del 20 de noviembre de 2009 establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.

Este Decreto Supremo regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA), las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario con el fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, a fin de asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando de este modo, la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de cumplimiento obligatorio para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario. Su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

De esta manera, si algún usuario, cuya descarga sobrepase los valores contenidos en el Tabla 13, deberá pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.



Los parámetros contenidos en el Tabla 14 no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario estará sujeto a suspensión del servicio.

Tabla 13

Valores Máximos Admisibles para descargas al alcantarillado

Parámetro	Unidad	Expresión	Valor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

Nota. Valores establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA

Tabla 14

Valores Máximos Admisibles para descargas al alcantarillado

Parámetro	Unidad	Expresión	Valor
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos*	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10



Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁻	80
pH ⁽²⁾	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	mL/L-h	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

Nota. (1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

(2) Estos parámetros, serán tomadas en muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta

* Modificado a 1000 mg/L mediante Resolución del Consejo Directivo de la SUNASS N° 009-2015-SUNASS-CD del 24 de marzo de 2015

Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

La Resolución Ministerial N° 273 -2013-Vivienda en el capítulo 6 título 6.1 especifica que los puntos de monitoreo deben guardar concordancia, respecto a la evaluación del efluente residual y al efecto precisa que los puntos de monitoreo serán dos: en la entrada de la PTAR y en el dispositivo de salida de la PTAR, pudiendo incorporarse un punto adicional, entre el dispositivo de la salida de la PTAR y el punto de vertido ante la posibilidad de la incorporación o conexión de otras descargas.

Con respecto al agua residual cruda (afluente) - entrada a la PTAR indica que se ubicará en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR, después de la combinación de los distintos colectores de agua residual que descargan a la obra de llegada a la PTAR, preferentemente después del proceso de cribado de las aguas residuales. En el caso del agua residual tratada (efluente), dispositivo de salida, se ubicará en el dispositivo de salida del agua residual tratada. Este dispositivo de salida, puede ser el medidor de flujo, caja de registro, buzón de inspección u otra estructura apropiada.

Así mismo, expresa que los puntos de monitoreo, deben ser identificados y reconocidos claramente, de manera que permita su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de la ubicación se utilizará el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrará en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.

Con respecto a las características del punto de monitoreo, expresa que los puntos de monitoreo deben permitir: a) que la muestra sea representativa del flujo; b) estar localizados en un punto donde exista una mejor mezcla y estar preferentemente cerca al punto del aforo; c) ser de acceso fácil y seguro, evitando caminos empinados, rocosos, vegetación densa y fangos y d) contar con una placa de identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

De otra parte, especifica que los parámetros de control sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR son los indicados en el D.S. N° 003- 2010-MINAM.

Determinación de la eficiencia de la PTAR del camal municipal existente

Los resultados de los parámetros obtenidos en el efluente en comparación con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual DS 003-2010 MINAM, muestran valores superiores, por lo que se manifiesta que la PTAR no cumple con el objetivo.

Tabla 15

Comparación de los Parámetros de los efluentes con LMP

Lab.	Determinación	Unidad	Efluente			LMP MINAM DS 003- 2010
			M2	M4	M6	
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	1.1x10 ⁷	1.7x10 ⁶	3.3x10 ⁹	10000.00

	Demanda					
MB	Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	407.00	520.00	564.00	100.00
FQ	Turbidez	NTU	267.00	256.00	351.00	
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	244.00	208.00	380.00	150.00
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	3.20	7.90	16.10	20.00
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	737.00	1293.00	1500.00	200.00
FQ	Nitrógeno (Amoniac) NH3-N	mg/L	192.10	192.42	175.50	45.00
FQ	Color	U color	228.00	150.00	151.00	
FQ	Temperatura °T	°C	13.70	13.40	13.40	<35
FQ	Potencial de hidrogeniones PH	-	7.92	7.29	7.22	6.5-8.5

De la Tabla 15 se demuestra la comparación de los límites máximos permisibles con respecto al resultado de análisis físico, químico y microbiológico en el efluente, monitoreados durante los 03 días de la semana martes, jueves y viernes; apreciándose 05 parámetros como son: el número de Coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, SST, Nitrógeno, de los tres días es mucho mayor que los LMP, por lo que se observa que la eficiencia de depuración de la PTAR en los 03 días no cumple con los límites máximos permisibles (LMP).

Tabla 16

Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 01

Lab.	Determinación	Unidad	Afluente M1	Efluente M2	Eficiencia
	Numeración de Coliformes				
MB	Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	2.1x10 ¹¹	1.1x10 ⁸	99.95%
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	453.00	407.00	10.15%
FQ	Turbidez	NTU	349.00	267.00	23.50%
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	174.00	244.00	-40.23%
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	4.90	3.20	34.69%
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	854.00	737.00	13.70%
FQ	Nitrógeno (Amoniac)	mg/L	50.11	192.10	-283.36%
FQ	NH3-N	mg/L	50.11	192.10	-283.36%
FQ	Color	U color	235.00	228.00	2.98%



FQ	Temperatura °T	°C	10.00	13.70	-37.00%
	Potencial de hidrogeniones				
FQ	PH		7.93	7.92	0.13%

En la Tabla 16 se demuestra la eficiencia de tratamiento en el día 01, en el que se realiza la comparación del resultado de la muestra 01 (M1) del afluente y muestra 02 (M2) del efluente; en el que se observa que el número de coliformes totales tiene una eficiencia del 99.95% de remoción pero sin embargo no está dentro de los LMP; y en cuanto a los demás parámetros la remoción es mínima, hasta incluso se aprecia valores negativos en el que se puede indicar que existe incremento de SST y nitrógeno amoniacal. De esta tabla se concluye que en el día 01 la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración.

Tabla 17

Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 02

LAB.	DETERMINACIÓN	UNIDAD	AFLUENTE M3	EFLUENTE M4	EFICIENCIA
	Numeración de Coliformes				
MB	Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	17000.00	1700000.00	-9900.00%
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	379.00	520.00	-37.20%
FQ	Turbidez	NTU	116.00	256.00	-120.69%
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	168.00	208.00	-23.81%
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	8.20	7.90	3.66%
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	935.00	1293.00	-38.29%
FQ	Nitrógeno (Amoniacal)				
FQ	NH3-N	mg/L	103.61	192.42	-85.72%
FQ	Color	U color	248.00	150.00	39.52%
FQ	Temperatura °T	°C	13.60	13.40	1.47%
FQ	Potencial de hidrogeniones pH		7.41	7.29	1.62%

Fuente: Elaborado por el investigador

En la tabla 17 se demuestra la eficiencia de tratamiento en el día 02, en el que se realiza la comparación del resultado de la muestra 03 (M3) del afluente y muestra 04



(M4) del efluente; en el que se observa que 06 parámetros representativos son negativas y en cuanto al resto tienen una remoción mínima. De esta tabla se concluye que en el día 02 la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración, que en forma contraria incrementa los valores de los parámetros generando mayor contaminación.

Tabla 18

Determinación de eficiencia de tratamiento en el día 03

LAB.	DETERMINACIÓN	UNIDAD	AFLUENTE M5	EFLUENTE M6	EFICIENCIA
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	7.9x10 ⁹	3.3x10 ⁹	58.23%
MB	Demana Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	617.00	564.00	8.59%
FQ	Turbidez	NTU	1946.00	351.00	81.96%
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	1500.00	380.00	74.67%
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	17.20	16.10	6.40%
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	2985.00	1500.00	49.75%
FQ	Nitrógeno (Amoniac) NH3-N	mg/L	48.63	175.50	-260.89%
FQ	Color	U color	188.00	151.00	19.68%
FQ	Temperatura °T	°C	14.60	13.40	8.22%
FQ	Potencial de hidrogeniones pH		7.81	7.22	7.55%

Fuente: Elaborado por el investigador

En la Tabla 18 se demuestra la eficiencia de tratamiento en el día 03, en el que se realiza la comparación del resultado de la muestra 05 (M5) del afluente y muestra 06 (M6) del efluente; en el que se observa en el parámetro de Nitrógeno amoniacal una remoción negativa de -260.89%, y en cuanto a los demás parámetros valores mínimos, pero sin embargo no están dentro de los límites máximos permisibles (LMP). De esta tabla se concluye que en el día 03 la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración.



3.5.3.2.- Cálculo de componentes del PTAR del camal municipal

La Planta de Tratamiento de Agua Residual del camal municipal de Ilave propuesto por el investigador cuenta con las siguientes operaciones y/o procesos de tratamiento que fueron planteados por el investigador.

- Pre Tratamiento

Cámara de rejas. – El agua residual llega directamente a este componente y es cribada por medio de una reja de limpieza manual de acero inoxidable de 25 mm de espaciamiento entre barras e instalado en un canal de 0.20 m de ancho. Se cuenta con un bypas paralelo y que entra a operar en el caso se obstruya la reja principal por falta de limpieza oportuna. Los sólidos son extraídos manualmente con la ayuda de un rastrillo, y son vertidos en el contenedor de residuos.

Desarenador. - Las arenas de tamaño superior a 0.1 mm sedimentan en el fondo de la estructura y son limpiadas manualmente, dichas arenas serán dispuestas a un contenedor que deberá estar próximo a la unidad. El canal es de 0.30 m, con una longitud horizontal de 2.75 m, que termina en un vertedero rectangular de 0.25m de ancho.

- Tratamiento Primario

Tanque Imhoff. - El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Este componente tiene la eficiencia de remoción de 36% de la DBO₅ y 60% de remoción de sólidos suspendidos totales según la norma OS.090. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final. En el diseño se ha considerado una unidad de tanque Imhoff con zona de sedimentación, zona de espumas o natas, y la zona de digestión, con sus respectivas instalaciones de válvula y tubería



extractor de lodos que lleva a través de una tubería de 200 mm por el sistema de gravedad que llega al lecho de secado.

- **Tratamiento Secundario**

Filtro biológico o filtro percolador. - Sistema en el que se aplica luego que el agua residual sea sedimentada y que luego se escurra sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

La unidad recolecta el agua tratada por medio de tuberías de 4" agujereadas, tanto la distribución como la recolección consideran diferentes espaciamientos de los agujeros, así mismo es de considerar que se aplicó 04 diferentes capas para el medio filtrante.

Sedimentador secundario. - Sistema en el que se aplica luego que el agua residual pasa a través de capas de medio filtrante en la que se forman bio películas que estabilizan la materia orgánica, estas partículas de materia orgánica requieren ser sedimentadas para no obstruir los espacios en los demás componentes.

- **Tratamiento terciario**

Humedal artificial. - Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales artificiales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales



artificiales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

Se ha considerado 01 unidad de humedades artificiales de 10m de ancho 20m de largo.

- **Tratamiento de Lodos.**

Lecho de Secado. - Es el área en el cual se depositan los lodos para que sean secados con energía solar y con la ayuda de la infiltración del agua a través de la capa de arena y ladrillo que se ubica debajo de la deposición de los lodos.

Se ha dimensionado un lecho de secado de 12 m x 12 m. por otro lado los lixiviados serán percolados en la misma área del lecho de secado.

Los lodos serán dispuestos a un relleno sanitario cercano, controlando el olor, para lo cual se recomienda aplicar cantidad de acuerdo al volumen de cal, con el fin de reducir el posible mal olor.

- **Desinfección**

Hipoclorito de calcio. - Se cuenta con un serpentín de cloración con capacidad para 15 min de tiempo de contacto, el tipo de agente químico es el hipoclorito de calcio, el cual se aplicará en forma sólida, se almacenará en el tanque. La aplicación consistirá con el apoyo de movildades que llenaran los tanques de dosificación donde se mezclara con el químico, para lo cual el operador controlara la válvula por la cual conducirá la solución al serpentín de cloración.

- **Disposición final.** -

El efluente de la PTAR se dispone al río Ilave.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA

Esta investigación de evaluación del reactor Imhoff de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave se desarrolló cumpliendo la metodología y técnicas descritas en el capítulo III. Se contó con el apoyo del personal administrativo que labora en dicho centro de beneficio, quienes facilitaron el acceso y además brindando la información para la mejor organización de la investigación, a continuación, se describen los resultados obtenidos.

Los componentes de la planta de tratamiento del camal municipal son: tanque ecualizador, cámara de rejas, desarenador, tanque Imhoff y una laguna de maduración que el orden del planeamiento del tren de tratamiento se muestra en la siguiente figura.

Figura 39

Tren de tratamiento existente y evaluado



Las dimensiones internas de cada componente según el levantamiento de campo se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19*Resumen de dimensiones internas de los componentes existentes*

Componente	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	OBSERVACIÓN
Tanque ecualizador	1.05	0.47	1.52	No opera
Cámara de rejas	2.04	0.29	0.96	No opera
Desarenador	3.33	0.29	1.00	No opera
Tanque Imhoff	8.32	4.39	5.05	Opera
Laguna de maduración	15.00	6.50	1.00	Opera parcialmente

Resumen de resultado de Análisis de agua residual en afluente informe presentado por laboratorio Bhios, acreditado por INACAL.

Tabla 20*Resumen de análisis de agua residual en afluente*

Lab.	Determinación	Unidad	Afluente		
			M1	M3	M5
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	2.1x10 ¹⁰	17000.00	7.9x10 ⁹
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	453.00	379.00	617.00
FQ	Turbidez	NTU	349.00	116.00	1946.00
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	174.00	168.00	1500.00
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	4.90	8.20	17.20
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	854.00	935.00	2985.00
FQ	Nitrógeno (Amoníaco) NH ₃ -N	mg/L	50.11	103.61	48.63
FQ	Color	U color	235.00	248.00	188.00
FQ	Temperatura °T	°C	10.00	13.60	14.60
FQ	Potencial de hidrogeniones				
FQ	pH		7.93	7.41	7.81

Nota. Los resultados completos están en el informe del anexo A.

Resumen de resultado de Análisis de agua residual en efluente informe presentado por laboratorio acreditado por INACAL Bhios.

Tabla 21*Resumen de análisis de agua residual en efluente*

Lab.	Determinación	Unidad	Efluente		
			M2	M4	M6
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	1.1x10 ⁷	1.7x10 ⁶	3.3x10 ⁹
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	407.00	520.00	564.00
FQ	Turbidez	NTU	267.00	256.00	351.00
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	244.00	208.00	380.00
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	3.20	7.90	16.10
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	737.00	1293.00	1500.00
FQ	Nitrógeno (Amoniac)				
FQ	NH3-N	mg/L	192.10	192.42	175.50
FQ	Color	U color	228.00	150.00	151.00
FQ	Temperatura °T	°C	13.70	13.40	13.40
FQ	Potencial de hidrogeniones PH		7.92	7.29	7.22

Fuente: Elaborado por el investigador en base al informe del anexo A

De los resultados del análisis de agua residual se determina la eficiencia de remoción, así como se describe en la Tabla 21, 20 y 19 del capítulo IV. A continuación, se presenta el resumen de eficiencia de tratamiento de la planta de tratamiento de agua residual existente cuyo núcleo de tratamiento es el tanque Imhoff.

Tabla 22*Resumen de eficiencia de tratamiento*

Lab.	Determinación	Unidad	Dia 01	Dia 02	Dia 03
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	99.95%	-9900.00%	58.23%
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	10.15%	-37.20%	8.59%
FQ	Turbidez	NTU	23.50%	-120.69%	81.96%



FQ	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-40.23%	-23.81%	74.67%
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	34.69%	3.66%	6.40%
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	13.70%	-38.29%	49.75%
FQ	Nitrógeno (Amoniac) NH ₃ -N	mg/L	-283.36%	-85.72%	-260.89%
FQ	Color	U color	2.98%	39.52%	19.68%
FQ	Temperatura °T	°C	-37.00%	1.47%	8.22%
FQ	Potencial de hidrogeniones PH		0.13%	1.62%	7.55%

De acuerdo al informe de análisis de agua considerando los valores críticos de diseño presentado en la Tabla N° 23, se caracteriza el agua residual y conforme a la norma OS.090 se plantea la propuesta del diseño hidráulico complementando con unidades de tratamiento.

Tabla 23

Norma OS.090 para selección de unidades de tratamiento

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log10)	
	DBO	Sólidos en Suspensión	Bacterias	Helminos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas (b)	80-90	c	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	c	1-6	1-4

Fuente. Norma OS.090 plantas de tratamiento de agua residual

Donde:

(a) precedidos y seguidos de sedimentación

(b) incluye laguna secundaria



- (c) dependiente del tipo de lagunas
- (d) seguidas de sedimentación
- (e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

Por las limitaciones de la norma OS.090 se consideró para el diseño hidráulico el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 que corresponde a la sección II título E Tratamiento de Aguas Residuales de República de Colombia.

Tabla 24

Eficiencias típicas de remoción

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje							
	DBO	DQO	SS	P	N Org.	NH3-N	patógeno	
Rejillas	desp	desp	desp	desp	desp	desp	desp	
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	desp	desp	desp	desp	
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	desp	
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	desp	
Filtros percoladores: Alta tasa, roca Super tasa, plástico	65-80, 65-85	60-80, 65-85	60-85, 65-85	8-12, 8-12	15-50, 15-50	8-15, 8-15	desp	
Cloración	desp	desp	desp	desp	desp	desp	100	
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp	
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp	
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp	
Lagunas anaerobias	50-70	—	20-60	—	—	—	90-99.99	
Lagunas aireadas	80-95	—	85-95	—	—	—	90-99.99	
Lagunas facultativas	80-90	—	63-75	30	—	—	90-99.99	
Lagunas de maduración	60-80	—	85-95	—	—	—	90-99.99	
Ultravioleta	desp	desp	desp	desp	desp	desp	100	

Fuente: Reglamento RAS 2000

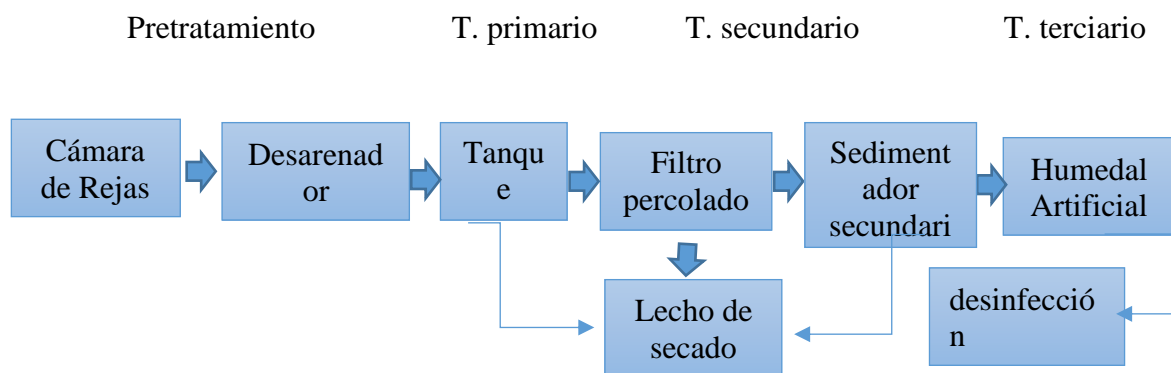
De acuerdo a diferentes niveles de tratamiento existen diferentes métodos para lograr el objetivo deseado, para el cual se ha determinado los siguientes componentes de

la figura en función a la Norma OS.090, RAS 2000 y el marco teórico descrito en capítulos anteriores.

Sistema de tratamiento propuesto por el investigador.

Figura 40

Sistema de tratamiento propuesto por el investigador.



La obtención del límite de remoción, conforme a las unidades planteadas en el sistema de tratamiento se demuestra en la Tabla N° 25 en el que se obtiene valores menores con respecto a los límites máximos permisibles.

Valores límites del efluente tratado del diseño propuesto.

Tabla 25

Valores límites del efluente tratado del diseño propuesto

LÍMITE DEL EFLUENTE TRATADO PROPUESTA DE DISEÑO											
LAB.	DETERMINACIÓN	UNIDAD	PARÁMETROS DE DISEÑO	CÁMARA DE REJAS	DESARENADOR	TANQUE IMHOFF	FILTRO BIOLÓGICO	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	HUMEDAL ARTIFICIAL	DESINFECCIÓN	RESULTADO O LÍMITE
Numeración de											
MB	Coliformes	NMP/100	2.1E+10	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	21000000	2100.00	2100.00
o Fecales											
Demana											
MB	Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	617	Desp-	Desp-	394.88	138.208	92.59936	81.487	Desp-	81.49
FQ	Turbidez	NTU	1946	Desp-	Desp-	Desp-	681.1	456.337	228.168	Desp-	228.17
Sólidos											
FQ	Suspendidos	mg/L	1500	Desp-	Desp-	600	240	96	84.48	Desp-	84.48
Totales											
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	17.2	Desp-	Desp-	8.6	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	8.60
Demanda											
FQ	Química de Oxígeno DQO	mg/L	2985	Desp-	2835.75	1843.238	460.80938	276.485625	193.54	Desp-	193.54
Nitrogeno											
FQ	(Amoniacco) NH3-N	mg/L	103.61	Desp-	Desp-	93.249	91.264	Desp-	36.5056	Desp-	36.51
FQ	Color	U color	248	Desp-	Desp-	99.2	39.68	Desp-	Desp-	Desp-	39.68
FQ	Temperatura °T	°C	14.6	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	14.50
Potencial de											
FQ	hidrogeniones PH		7.93	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	Desp-	7.93

Luego del planteamiento de las unidades del sistema de tratamiento propuesto se desarrolla el dimensionamiento hidráulico de las infraestructuras propuestas.

4.1.1.- Hojas de cálculo parámetros de diseño.

Tabla 26

Parámetros para el diseño hidráulico.

Parámetro	Año de diseño	Símbolo	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Caudal máximo horario	2041	Q_{max}	0.60	l/s	2.16	m ³ /h
Caudal promedio	2041	Q_{prom}	0.45	l/s	1.62	m ³ /h
DBO5 de ingreso	2041	S_o	617.00	mg/l		
Temperatura	2041	T°	14.50	°c		
Solidos Suspendidos Totales	2041	SST	1500.00	mg/l		

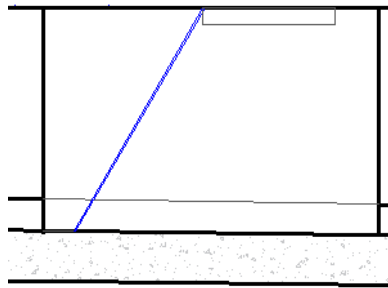
Hojas de cálculo cámara de rejás

Tabla 27

Diseño hidráulico de la cámara de rejás.

N°	Datos	DISEÑO DE REJAS				Resultados	Unidad
		Cantidad	Unidad	Cálculo			
1	Velocidad de paso	$V = 0.75$	m/s	$A_u = 0.001$	Área útil o área libre	m ²	
	Caudal máximo horario	$Q_{max} = 0.60$	lps				
2	Espaciamiento entre barras	$a = 25$	mm	$E = 0.800$	Eficiencia de la reja		
		$a = 1$	pulg				
	Espesor de la barra	$t = 6.25$	mm				
		$t = 0.25$	pulg				
3				$A = 0.001$	Área total o sección de flujo aguas arriba de la barra	m ²	
4	Ancho del canal	$b = 0.2$	m	$Y = 0.005$	Tirante de agua en el canal	m	
5				$V_o = 0.60$	Velocidad de aproximación	m/s	

6	Coefficiente n	n = 0.013	-	S' = 0.07594	Pendiente del canal calculado	m/m
7	Pendiente de canal	S = 0.076	m/m	K _{min} = 3.6E-06		
	Caudal mínimo	Q _{min} = 0.3	lps			
8				Y _{min} = 0.0067	Tirante mínimo en el canal	m
9				A _{min} = 0.00	Área mínima	m ²
10				V _{min} = 0.25	Velocidad mínima	m/s
					No Cumple 0.3 < V < 0.6 m/s	
11	Caudal promedio	Q _{prom} = 0.45	lps	K _{prom} = 5.5E-06		-
12				Y _{prom} = 0.0079	Tirante promedio en el canal	m
13				A _{prom} = 0.00	Área promedio	m ²
14				V _{prom} = 0.28	Velocidad promedio	m/s
15	Caudal máximo horario	Q _{max} = 0.6	lps	K _{max} = 8.4E-06		-
16				Y _{max} = 0.0094	Tirante máximo en el canal	m
17				A _{max} = 0.00	Área máxima	m ²
18				V _{max} = 0.32	Velocidad máxima	m/s
19				V _{p-max} = 0.40	Velocidad entre barras, Q _{max}	m/s
20				V _{p-prom} = 0.36	Velocidad entre barras, Q _{prom}	m/s
21				V _{p-min} = 0.32	Velocidad entre barras, Q _{min}	m/s
22				n = 6.00	Número de barras	barras
23				V' = 1.50	Velocidad a través de las barras, con 50% de ensuciamiento	m/s
24			∅	h _{fr} = 0.14	Pérdida de carga en la reja	
25	Aceleración de la gravedad	g = 9.81	∅ m/s ²	L = 0.12		m
	Diámetro de la tubería de ingreso	D = 150	∅ mm		Longitud de transición	
		D _{int} = 145	mm			
26	Velocidad en tubería de ingreso	V ₁ = 2	m/s	h _{ft} = 0.010	Pérdida de carga en la transición	m
27	Tirante de agua en emisor para el caudal máximo	y ₁ = 0.25	m	E ₁ = 0.454	Energía en la tubería de ingreso	m
28				E ₂ = 0.023	Energía en el canal	m
29				DZ = 0.431	Desnivel entre ingreso y fondo canal	m





Hoja de cálculo desarenador

Tabla 28

Diseño hidráulico del desarenador

DISEÑO DE DESARENADOR				
Nº	Datos	Fórmula	Cantidad	Unidad
1	Tamaño de la partícula de arena		d = 0.1	mm
2	Velocidad de sedimentación		Vs = 0.50	cm/s
3	Velocidad horizontal		Vh = 20.00	cm/s
4	Caudal de tratamiento		Qmax = 0.60	l/s
			Qt = 0.0006	m3/s
5	Número de unidades		N = 2	unidad(es)
6	Caudal de diseño		Qd = 0.0006	m3/s
7	Area transversal		At = 0.003	m2
		H entre (1.00m - 3.00m)	H = 0.110	m
8	Dimensionamiento del área transversal		B = 0.03	m
9	Tasa de aplicación de desagüe		Tad = 45.00	m3/m2/h
10	Area superficial		As = 0.05	m2
11	Longitud de la zona de desarenación		L = 1.76	m
			L = 1.80	m ESTIMAR
			Lf = 2.25	m
			Lf = 5.50	m
12	Longitud final de la zona de desarenación		Lf = 2.20	m
			Lf = 2.5	m ELEGIR
13	Tiempo de retención de la unidad	TRH=At*Lf/ (60*Q)	To = 0.21	min
14	Altura de agua en el vertedero de salida		H2 = 0.0523	m
15	Velocidad de paso en el vertedero de salida	1.8 <= m <= 2 ; v máx. recomendable 1 m/s	m = 1.9	
			v = 0.43	m/s
16	Ancho de veredero de salida	Se recomienda : 0.20 <= b' <= 0.30	b' = 0.25	m
17	Longitud total		L _T = 2.75	m
18	Pendiente del fondo de la zona de decantación	Se recomienda: 5% <= S <= 10%	S = 5.00%	
19	Profundidad por la pendiente		h1 = 0.09	m
20	Altura en el extremo profundo de la zona de decantación	H ₁ = H + h1	H ₁ = 0.20	m

Hoja de cálculo Tanque Imhoff

Tabla 29

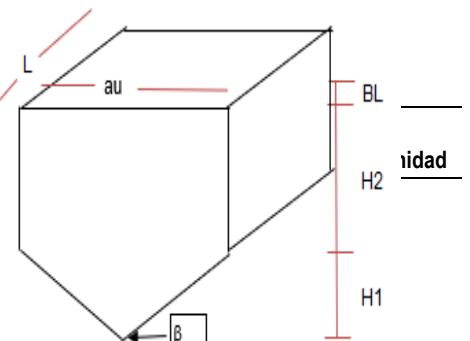
Parámetros para diseño hidráulico del tanque Imhoff.

DISEÑO DE TANQUE IMHOFF				
PARAMETROS DE DISEÑO				
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Normativa - OS 0.90
1	Carga Superficial	CS = 1.00	m ³ /m ² /hora	
2	Periodo de Retención	PR = 2.00	hora	1.5 < PR < 2.5
3	Temperatura	T°amb = 15.00	°C	
4	Tasa de Acumulación de Lodos	Tal = 20.27	m ³ /año	
5	Factor de capacidad relativa	f = 1.00		se selecciona f=1 dado que la temperatura es de 14.5°C
6	Caudal promedio	Q _{prom} = 0.45	lps	
7	Población de diseño , NO CORRSPONDE	Pob = 0	hab	
8	DBO5 de ingreso	So = 617	mg/l	
9	DBO5 de salida	Se = 395	mg/l	
10	Eficiencia de remoción	E = 36%		
11	Solidos Suspendidos totales ingreso	SST = 1500	mg/l	
12	Solidos Suspendidos totales Salida	SST = 600	mg/l	
13	Eficiencia de remoción	E = 60%	mg/l	

Tabla 30

Diseño hidráulico de la zona de sedimentación del tanque I

DISEÑO DE ZONA DE SEDIMENTACIÓN				
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo
11	Numero de unidades de tanques imhoff	N = 1.00	Unidad	
12	Caudal unitario para cada tanque	Qu = 0.45	lps	
13	Volumen de sedimentación total en cada tanque	Vt = 3.24	m ³	





14	Numero de zonas de sedimentación por tanque	$n = 2$	Unidad			
15	Volumen de sedimentación unitaria	$V_u = 1.62$	m^3			
16	Area Superficial Total en cada tanque	$A_s = 1.62$	m^2			
17				$L/a = 3.00$		
18				$a = 0.73$	Ancho Total de la tolva	m
19				$a = 1.00$		
20				$L = 3.00$	Largo Total	m
21	Area superficial unitaria	$A_{su} = 0.81$	m^2	A_s		
22				$L = 3.00$		m
23				$au = 0.50$		m
24				$au = 1.00$	OS 0.90	m
25	Altura total de la zona de sedimentación	$H_s = 1.81$	m	$H_s =$		
26	Altura de borde libre de la zona de sedimentación			$BL = 0.30$		m
27	Altura de cuerpo de zona de sedimentación			$H_1 = 0.87$		m
28	Angulo de inclinación de la tolva de la zona de sedimentación			$\beta = 60.00$	$50 < \beta < 60$	$^\circ$
29				$H_1 = 0.87$		m
30	Altura de la tolva de la zona de sedimentación			$H_2 = 0.70$		m
31				$H_2 = 0.65$		m

Tabla 31

Diseño H. de la zona de espumas o natas del tanque Imhoff.

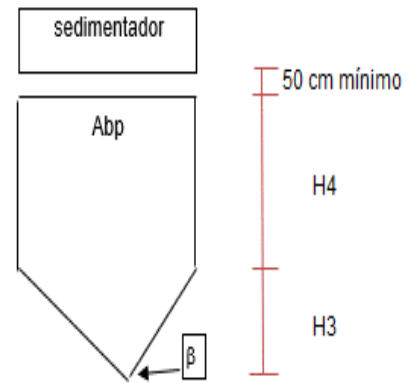
DISEÑO DE ZONA DE ESPUMAS O DE NATAS						
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
31	Area total de zona de espuma	$A_{se} = 3.90$	m^2			
32	Area libre	$A_{lib} = 1.17$	m^2			
33						
34		ancho de zona libre		$a_{lib} = 0.39$		m
35		Numero de zonas libres en el tanque imhoff		$N = 2.00$		m

36	ancho de zona libre unitaria	$au_{lib} = 0.20$	m
37		$au = 1.00$	OS 0.90 au lib indica mínimo 1 m

Tabla 32

Diseño hidráulico de la zona de digestión del tanque Imhoff

N°	Datos	DISEÑO DE ZONA DE DIGESTIÓN			Cálculo	Resultados	Unidad
		Cantidad	Unidad				
38	Tasa de acumulación de lodo	$Tal' = 20.27$	$m^3/año$				
39	Volumen de tanque total de zona de digestión	$Vtd = 20.27$	m^3				
40	Numero de unidades de tanques imhoff	$N = 1$	Unidad				
41	Numero de zonas de digestión por tanque	$n = 2$	Unidad				
42	Volumen de digestión unitaria	$Vdu = 10.14$	m^3				
43	Largo total	$L = 3.00$	m				
44	Ancho total	$Ato = 3.50$	m				
45		Ancho util tanque	$A_{util} = (1 \times a') + (2 \times a'_{lib})$	$A_{util} = 2.50$			m
46			Ancho de de cada muro	$A_m = 0.25$			m
47	Área de la base de cada pirámide	$Abp = 5.25$	m^2				
48	Altura total de la zona de digestión	$Hdt = 2.53$	m		$Hdt =$		
49		Altura de borde libre de la zona de digestión			$BL = 0.50$		
50		Altura de la tolva de la zona de digestión			$H3 = 0.43$	m	
51	Angulo de inclinación de la tolva de la zona de digestión		$15 < \beta < 30$		$\beta = 30.00$		
52					$H3 = 0.43$		
53					$H3 = 1.00$	Valor escogido	





54	Volumen de la pirámide de fondo de la tolva de la zona de digestión (V3)		V3 = 1.75		
55	Volumen del cuerpo de la zona de digestión (V3)		V4 = 8.39		
56		Altura del cuerpo de la zona de digestión	H4 = 1.60		
57			H4 = 1.60	m	m

Diseño hidráulico del filtro biológico

Tabla 33

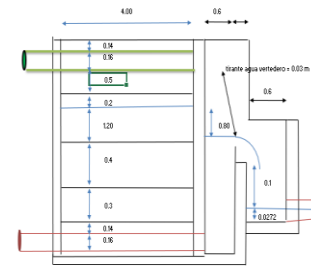
Parámetros de diseño del filtro biológico

DISEÑO DE FILTRO BIOLÓGICO						
PARAMETROS DE DISEÑO						
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
1	Temperatura	T ^{amb} = 15.00	°C			
2	Caudal promedio	Q _{prom} = 0.45	lps	Q _{prom} = 38.88		m ³ /d
3	Población de diseño	Pob = no coorresponde	hab			
4	DBO5 de ingreso	So = 395	mg/l			
5	DBO5 de salida	Se = 157	mg/l			
6	Eficiencia de remoción	E = 60%	mg/l			
7	Caudal de recirculación	QR = 0	m ³ /d			
DISEÑO DE FILTRO						
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
8	Numero de Filtros	N = 1.00	Unidad			
9	Caudal promedio unitario	Q _{prom} = 0.45	lps	Q _{prom} = 38.88	Caudal c/u filtro	m ³ /d
10	Carga Organica	Co = 15.36	Kg DBO/día			
11	Razón de recirculación	R = 0.00				
12	Factor de recirculación	F = 1.00				
13	Volumen de Filtro percolador	V = 6.91	m ³			
14	Profundidad del medio filtrante	H = 2.00	m			
15	Tasa de aplicación superficial	TAS = 11.25	m ³ /(m ² .día)			
16	Carga Volumetrica	CV = 2.22	Kg DBO/(m ³ .día)			
17	Area del Filtro	A = 3.46	m ²			
18				L = 1.86		m
19				a = 1.86		m

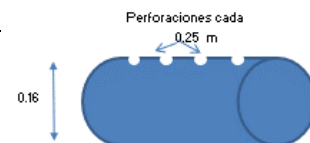
Tabla 34

Diseño hidráulico filtro biológico zona de distribución

DISEÑO DE ZONA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA RESIDUAL						
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
19	Diametro de orificio en tubería	$\varnothing_o = 0.50$	pulg			
20	Area del orificio en tubería	$A = 0.0001$	m ²			
21	Espacio entre tuberías	$e_{\text{tub.}} = 0.40$	m			
22	Diametro de tubería de recolección	$\varnothing = 0.16$	m			
23	Numero de tuberías de recolección	$N_t = 3.00$	und			
24	Numero de filas de orificios en cada tubería	$N_o = 2.00$	und			
25	Espaciamiento entre cada orificio	$e_{\text{ori.}} = 0.25$	m			
26	Numero de orificios por tubería	$N_{ot} = 13.00$		$N_{ott} = 39.00$		orificios
27	Area total de todos los orificios	$A = 0.00$	m ²			
28	Velocidad de paso por orificio	$V_{ori} = 0.10$	m/s			
29	Altura borde inferior tubería a nivel de grava	$m_1 = 0.50$	m			
30	Nivel de agua inicial debajo de nivel de grava	$m_2 = 0.20$	m			
31	Ancho de canal de recolección de agua residual	$m_3 = 0.60$	m			
32	Tirante de agua en tubería de descarga	$m_4 = 0.03$	m			
33				$\% = 0.01$		m/m
34				$n = 0.01$		
35	Altura Libre	$m_5 = 0.10$	m			

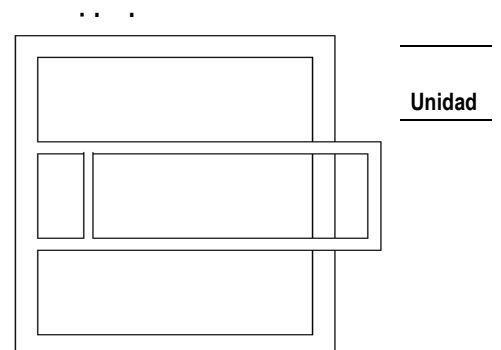


$N_{ott} = 39.00$ orificios

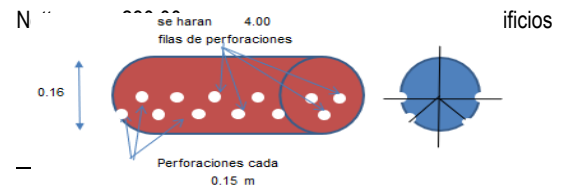


Diseño hidráulico filtro biológico zona de recolección de a

DISEÑO DE ZONA DE RECOLECCIÓN DE			
Nº	Datos	Cantidad	Unidad
35	Diámetro de orificio en tubería	$\varnothing_o = 1.00$	pulg
36	Área del orificio en tubería	$A = 0.0005$	m ²
37	Espacio entre tuberías	$e_{\text{tub.}} = 0.20$	m
38	diámetro de tubería de recolección	$\varnothing = 0.16$	m
39	Numero de tuberías de recolección	$N_t = 5.00$	und



40	Numero de filas de orificios en cada tuberia	No	=	4.00	und
41	Espaciamiento entre cada orificio	e ori.	=	0.15	m
42	Numero de orificios por tuberia	Not	=	46.00	
43	Area total de todos los orificios	A	=	0.1073	m ²
44	Velocidad de paso por orificio	Vori	=	0.0022	m/s
45	Perdida de carga hidraulica	h	=	0.80	m
46		h1	=	0.00	m
47		h2	=	0.80	m
48	Longitud de verteredero de salida	l	=	0.50	m
49	Altura de vertedero de salida	H	=	0.01	m
50	Altura total del biofiltro	Htotal	=	2.60	m
51		G1	=	1.20	m
52		G2	=	0.40	m
53		G3	=	0.30	m
54		G4	=	0.30	m
55		Bl	=	0.40	m



Hoja de cálculo sedimentador secundario

Tabla 35

Diseño hidráulico sedimentador secundario

DISEÑO DE SEDIMENTADOR SECUNDARIO O CLARIFICADOR				
PARAMETROS DE DISEÑO				
8	DBO5 de ingreso	So	157	mg/l
9	DBO5 de salida	Se	105	mg/l
10	Eficiencia de remoción	E	33%	
11	Solidos Suspendidos totales ingreso	SST	600	mg/l
12	Solidos Suspendidos totales Salida	SST	240	mg/l
13	Eficiencia de remoción	E	60%	mg/l
DESCRIPCION	DATOS	UNID	RESULTADOS	UNID
Zona de Sedimentacion				



14	Volumen de la zona de sedimentacion	Tiempo de Retención	Tr	=	2.00	horas	Vs	=19.44	M3
		Caudal Promedio	Qpc	=	1.62	M3/Hora			
15	Area Superficial de sedimentacion	Carga Superficial	Cs	=	4.00	m3/m2/dia	As	=9.72	M2
		Caudal Promedio	Qpc	=	38.9	M3/dia			
16	Profundidad de sedimentacion	Area Superficial	As	=	9.7	m2	Hs	=2.00	m
		Volumen	Vs	=	19.44	m			
17	Dimensiones de la Zona de Sedimentacion	Largo	L	=	5.40	m	L/H	=5.00	m
		ALTURA	H	=	2.00	m			
		ANCHO	A	=	1.80	m	L/A	=3.00	m
18	Carga Hidraulica en el Vertedero de Recoleccion	Ancho del Sedimentador	A	=	1.8	m			
		Caudal Maximo Diario	Qmdc	=	0.45	m3/dia	C.H.V	=0.25	M3/d/m
<u>Pantalla de Difusion</u>									
19	Area total de los orificios	Caudal Promedio	Qpc	=	0.0005	m3/s	At	=0.001	m
		Velocidad de paso	Vo	=	0.6	m/s			
20	Numero de Orificios	Diametro de orificios	Ø	=	2.5	cm	N	=1.528	
		Area de un Orificio	A1	=	4.91E-04	m2			
21	Comprobacion de Velocidad	Nº Columnas	a	=	1		Vo	=0.458	m
		Nº Filas	b	=	2				

Hoja de cálculo de humedal artificial

Tabla 36

Parámetros para el diseño hidráulico humedal artificial

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL O NAVE DE MACRÓFITAS							
Nº	Datos	PARAMETROS DE DISEÑO			Cálculo	Resultados	Unidad
		Cantidad	Unidad				
1	Temperatura	T°amb = 14.50	°C				
2	Caudal promedio	Q _{prom} = 0.45	lps	Q _{prom} = 38.88		m3/d	
3	Población de diseño, No corresponde	Pob = no coorrponde	hab				
4	DBO5 de ingreso	So = 105	mg/l				
5	DBO5 de salida	Se = 93	mg/l				
6	Eficiencia de remoción	E = 12%	mg/l				



11	coeficiente determinado empíricamente que representa la fracción de DBO5 no eliminada por sedimentación a la entrada	A	=	0.4999	
12	Constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura (d-1) para T° 15C	Kt	=	0.006	d-1
13					
14		Kt	=	0.003	d-1
15	coeficiente superficie especifica de actividad microbiológica	Av	=	15.70	m2/m3
16	coeficiente fracción del área transversal no ocupada por plantas	n	=	0.95	



Tabla 37

Diseño hidráulico humedal artificial

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL O NAVE DE MACRÓFITAS						
Nº	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
17	Numero de Humedales artificiales	N = 1.00	Unidad			
18	Caudal promedio unitario	$Q_{prom} = 0.45$	lps	$Q_{prom} = 38.88$	Caudal c/u humedal	m ³ /d
19	Carga Organica	$Co = 4.09$	Kg DBO/dia			
20	Tiempo de retención hiraulica	$t = 22.62$	dias	$(\ln(Ce/(Co*A)))3 / 0.0875 / KT / (AV) 1.75$		
21					1.7604	
22					0.5655	
23					0.8270	
24				$(\ln(Se/(So*A)))3 / 0.0875 / KT / (AV) 1.75$		
				=	22.6169	
25	Profundidad de Humedal	H = 1.20	m			
26	Area total para humedal	Area = 200.00	m ²	$t / (n * H / Q_{prom}) =$		
27				a =	10.0	m
28				L =	20.0	m

Hoja de cálculo sistema de desinfección

Tabla 38

Diseño hidráulico de sistema de cloración

SISTEMA DE DESINFECCIÓN SERPENTIN DE CLORACIÓN				
Nº	Datos	Fórmula	Cantidad	Unidad
1	Población		Pob= 0	hab
2	Caudal de agua a tratada	Caudal promedio	$Q_{prom} = 0.5$	L/s
3			$Q_{prom} = 1.6$	m ³ /h
4		Caudal Maximo	$Q_{max} = 0.6$	L/s
5			$Q_{max} = 2.2$	m ³ /h
6	Tiempode contacto	RNC	t = 15.00	min
7	Volumen de serpentín de cloro	$V = (Q_{max} \times t)$	V = 0.54	m ³
8		numero de canales	n = 3.00	
9		Profundidad	h = 1.00	m
10		Ancho de canal	a = 0.15	m



11		Largo de canal		L = 1.20 m V = 0.54 m ³	
N°	Datos	Fórmula	Cantidad	Unidad	
12	Agente Desinfectante	Hipoclorito de Calcio Ca(ClO) ₂ ·4H ₂ O			
13	Porcentaje de Cloro activo en el producto	Tipo Granulado	%Cl = 65	%	
14	Caudal de agua a tratar		Q = 0.5	L/s	
15	Concentración de la Solución de Cloro		C = 1.00	%	
16	Dosis de Cloro		D = 5.00	mg/L	
17	Caudal de solución a dosificar en la Planta	$M = (D * Q) / C$	M = 0.81	L/h	
18			M = 19.44	L/día	
19	Consumo promedio diario de Hipoclorito de Calcio	$P = (V1 * C) / \%Cl$	P = 0.30	Kg/día	
20	Volumen del tanque de solución	Para dosificar por 2 días	V = 38.88	L	
21	Consumo de Hip. Calcio por tanque preparado		P _{tan} = 0.60	Kg	
22		Por lo tanto se consideran un tanque de 0.1 m ³	V = 100	L	
N°	Datos	Fórmula	Cantidad	Unidad	
23	Cantidad para almacenamiento	Para: 90 días	P _{alm} = 26.9	Kg	
24	Peso por bidón de Hipoclorito de Calcio		P _{bidon} = 30.00	Kg	
25	Numero de bidones	Para: 90 días	N = 1.00		

Hoja de cálculo lecho de secado

Tabla 31

Diseño de lecho de secado

DISEÑO DE LECHO DE SECADO						
PARAMETROS DE DISEÑO						
No	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
1	Temperatura	T ^{amb} = 15.00	°C			
2	Sólidos en suspensión total en el agua residual	SST = 20.27	m ³ /año			
3	Periodo de secado de lodos	P _s = 6	semanas	$\frac{4 \text{ m}^3 \text{ lodos}}{\text{día} * 8}$	OS 0.90	
3	Numero promedio de secados por año	N _s = 8	veces / año			



4	% de Remoción de solidos suspendidos en la linea de tratamiento de agua	%RSS = 60%	%			
5	% de Remoción de solidos volatiles en la linea de tratamiento de agua	%RSV = 50%	%			
6	Solidos suspendidos volatiles / solidos suspendidos	n = 0.60				
7	Población	Pob = 3200	Hab			
DISEÑO DE LECHO DE SECADO						
N°	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculo	Resultados	Unidad
8	Solidos en suspensión que llega al lecho de secado	SS Is = 8.11	m3/año			
9	Solidos volatiles que llega al lecho de secado	SV Is = 4.87	m3/año			
10	Solidos fijos que llega al lecho de secado	SF Is = 3.24	m3/año			
11	Solidos a remover por el lecho de secado	SS Is = 8.11	m3/año			
12	Masa de lodos	M = 58320	g/dia			
13	Volumen de lodo que llega al lecho de secado	V = 0.56	m3/dia			
14		V = 202.7	m3/año			
15				d = 1.05		kg/l
16				s = 10.00		%
17	Volumen requerido	Vu = 25.34	m3			
18	Profundidad de lodo	Ht = 0.30	m			
19	Profundidad de medio filtrante (Arena+grava fina + grava gruesa)	Ht = 0.50	m			
20				h1 = 0.20		m
21				h2 = 0.10		m
22				h3 = 0.20		m
23	Area del Filtro	A =	126m2			
24				L = 12.0		m
25				a = 12.0		m
26				A = 144		m2



4.2. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis físico químico y microbiológico del efluente de la planta de tratamiento del camal municipal de Ilave en la que el componente principal es el tanque Imhoff, refleja que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el DS 003-2010 MINAM. Tabla N°17.

Comparación de resultados de los Parámetros de los efluentes con LMP

Lab.	Determinación	Unidad	Efluente			LMP MINAM DS 003- 2010
			M2	M4	M6	
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	1.1x10 ⁷	1.7x10 ⁶	3.3x10 ⁹	10000.00
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	407.00	520.00	564.00	100.00
FQ	Turbidez	NTU	267.00	256.00	351.00	
FQ	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	244.00	208.00	380.00	150.00
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	3.20	7.90	16.10	20.00
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	737.00	1293.00	1500.00	200.00
FQ	Nitrógeno (Amoniac) NH3-N	mg/L	192.10	192.42	175.50	45.00
FQ	Color	U color	228.00	150.00	151.00	
FQ	Temperatura °T	°C	13.70	13.40	13.40	<35
FQ	Potencial de hidrogeniones PH	-	7.92	7.29	7.22	6.5-8.5

- La eficiencia de tratamiento se determina con la comparación de las muestras tomadas en el afluente y efluente, se demuestra que la PTAR existente no es eficiente, así como se refleja en la tabla N° 18, 19 y 20.



- Del levantamiento de las dimensiones de los componentes existentes no corresponden al caudal máximo horario (caudal de diseño) ni con los parámetros físico químicos y microbiológicos de diseño. Lo que debería de ser lo presentado en la tabla N°13 y tabla N° 28 parámetros de diseño hidráulico.
- El tren de tratamiento planteado y diseñado con respecto a los resultados obtenidos por el laboratorio confirma que el PTAR existente no es lo correcto y que no cumple con el objetivo de tratamiento ya que los parámetros de diseño son muy elevados.
- Se observa la propuesta del dimensionamiento y la representación gráfica en planos en el anexo D, respecto a las dimensiones y planteamiento del sistema existente en el anexo C es incompleto, así como el tanque Imhoff no posee sistema de extracción de lodos de la zona de digestión.

4.3. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

4.3.1. Del objetivo general

Se determinó la eficiencia de tratamiento en el día 1, mediante la comparación del resultado de la muestra 1 (M1) del afluente y muestra 2 (M2) del efluente; en el que se observó que el número de coliformes totales tiene una eficiencia del 99.95% de remoción, pero sin embargo no está dentro de los LMP; y en cuanto a los demás parámetros la remoción es mínima y negativas, y existe incremento de SST y nitrógeno amoniacal. Así como se muestra en la Tabla N° 18 y se concluye que en el día 1, la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración.



Se determinó la eficiencia de tratamiento en el día 2, mediante la comparación del resultado de la muestra 3 (M3) del afluente y muestra 4 (M4) del efluente; en el que se observó que 6 parámetros representativos son negativos y en cuanto al resto tienen una remoción mínima. De la Tabla N° 19 se concluye que en el día 2 la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración.

Se determinó la eficiencia de tratamiento en el día 3, mediante la comparación del resultado de la muestra 5 (M5) del afluente y muestra 6 (M6) del efluente; en el que se observó que el parámetro de Nitrógeno amoniacal obtuvo una remoción negativa de -260.89%, y en cuanto a los demás parámetros resultaron valores mínimos; sin embargo, no están dentro de los límites máximos permisibles (LMP). De la tabla N° 20, se concluye que en el día 3 la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal no es eficiente en su depuración.

Durante el monitoreo de los tres días, presentados en las Tablas N° 18, 19 y 20; de muestras tomadas en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de agua residual se determinó que el camal municipal Ilave no es eficiente.

4.3.2. De los objetivos específicos

Se verificó los resultados de análisis físico, químico y microbiológico en el efluente, monitoreados durante 3 días, las muestras M2, M4 y M6; apreciándose los parámetros (número de coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, SST, Nitrógeno), de las tres muestras es mucho mayor que los LMP, así como se detalla en la Tabla N° 17 por lo que se concluye que el efluente no cumple con los límites máximos permisibles (LMP) del DS 003-2010 MINAM.



Se evaluó y dimensionó cada uno de los componentes del sistema de tratamiento existente, en el que se aprecia componentes del tratamiento preliminar, primario y secundario de la siguiente manera:

Tratamiento preliminar: Se tiene un tanque ecualizador de 1.05 m de largo, 0.47 m de ancho y una profundidad de 1.52 m que no opera; la cámara de rejas el cual no cuenta con rejas, dimensiones de 2.04 m de largo, 0.29 m de ancho de canal y 0.96 de profundidad que no opera; y un desarenador de 3.33 m de largo, 0.29 m de ancho de canal, y 1.00 m de profundizas que no opera.

Tratamiento primario: Como único componente del tratamiento primario que viene operando es el tanque Imhoff cuyas dimensiones son de 8.32 m de largo, 4.39 m de ancho y una profundidad de 5.05 m; sin embargo, falta los accesorios para la extracción de lodo de la zona de digestión.

Tratamiento secundario: Cuenta con una laguna de maduración de 15 m de largo, 6.50 m de ancho y una profundidad de 1.00 m que opera parcialmente.

Se infiere que los componentes existentes no fueron planteados con las dimensiones y parámetros de diseño correctas. Con los cálculos y evaluación realizada, se presenta un diseño de componentes de la PTAR, el mismo que se aprecia en los planos de levantamiento detallados en el anexo C de la presente investigación.

Los componentes complementarios propuestos para determinar el sistema de tratamiento son: Pretratamiento (cámara de rejas, desarenador), tratamiento primario (tanque Imhoff), tratamiento secundario (filtro biológico, sedimentador secundario) y tratamiento terciario (humedal artificial, sistema de desinfección) y en la línea de lodos

(lecho de secado de lodos). Estos componentes tienen la remoción teórica llegando a valores dentro de los límites máximos permisibles, en base a la Tabla N° 27, se genera la Tabla N° 41 y se verifica que la combinación de las unidades de tratamiento propuesto llega a cumplir con los LMP.

Tabla 39

Comparativo con LMP y resultados de la propuesta de diseño

Lab.	Determinación	Unidad	Resultado de tratamiento	LMP MINAM DS 003-2010	Observación
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	NMP/100ml	2100.00	10000.00	Cumple
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	81.49	100.00	Cumple
FQ	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	84.48	150.00	Cumple
FQ	Aceites y Grasas	mg/L	8.60	20.00	Cumple
FQ	Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	193.54	200.00	Cumple
FQ	Nitrógeno (Amoniacal) NH3-N	mg/L	36.51	45.00	Cumple
FQ	Temperatura °T	°C	14.50	<35	Cumple
FQ	Potencial de hidrogeniones pH		7.93	6.5-8.5	Cumple

De acuerdo a lo presentado en la tabla N° 41, se concluye que la propuesta del diseño hidráulico de los componentes complementarios al tanque Imhoff cumple con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes de PTAR.



V. CONCLUSIONES

Se determinó la eficiencia de tratamiento de agua residual en el día uno, dos y tres, mediante la comparación de resultados de las muestras (M1; M3 y M5) del afluente y las muestras (M2, M4 y M6) del efluente, en el que se identifica que los parámetros físicos químicos y microbiológicos tienen una remoción o depuración mínima hasta incluso negativa; por lo que se concluye que el reactor Imhoff de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave no es eficiente.

Se evaluó los resultados de análisis físico, químico y microbiológico en el efluente, monitoreados durante los tres días, las muestras M2, M4 y M6; apreciándose los parámetros (número de coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, SST, Nitrógeno), de las tres muestras es mucho mayor que los LMP; por lo que se concluye que el efluente no cumple con los límites máximos permisibles (LMP) del DS 003-2010 MINAM.

Se evaluó y se levantó las dimensiones de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento existente, en el que se aprecia componentes del tratamiento preliminar, primario y secundario; con deficiencias en dimensiones y operatividad, así como se ha descrito y plasmado en planos de levantamiento, se concluye que la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal de Ilave no fue diseñada de acuerdo a los parámetros de diseño.

Los componentes propuestos para la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal son: Pretratamiento (cámara de rejillas, desarenador), tratamiento primario (tanque Imhoff), tratamiento secundario (filtro biológico, sedimentador secundario) y tratamiento terciario (humedal artificial, sistema de desinfección) y en la línea de lodos



(lecho de secado de lodos). Estos componentes tienen la remoción teórica llegando a valores dentro de los límites máximos permisibles, y se verifica que la combinación de las unidades de tratamiento propuesto llega cumplir con los LMP.



VI. RECOMENDACIONES

En base a lo presentado en este estudio, se recomienda a los investigadores, ampliar la indagación respecto a Plantas de Tratamiento de Agua Residual en camales municipales y privadas, con la finalidad de proponer un sistema automático y/o compacto en beneficio de la población.

Se recomienda a las EPS, elaborar un manual de mantenimiento para camales que tienen funcionamiento discontinuo en el día, con sistemas de válvulas de limpieza y extracción.

Para el monitoreo de agua residual tener presente los protocolos de muestreo y contar con laboratorios acreditados para tener los resultados reales para diseñar un buen proyecto que cumpla con los límites máximos permisibles y ECA's.

Para la evaluación de una planta de tratamiento es necesario realizar los trabajos previos e identificación de los componentes o unidades de tratamiento, es recomendable realizar el levantamiento de los componentes del PTAR.



VII. REFERENCIAS

- Andrade, R. (2020). Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno - 2020. *Universidad Privada San Carlos*. Puno, Perú.
- Apaza, R. (2021). Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José provincia de Azángaro. *Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Artero, I., & Quiusque, M. (Octubre de 2012). Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario. *Universidad de El Salvador*. San Salvador, El Salvador.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú*. Lima: ANA.
- Barraza, A., & Palpa, G. (2011). Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores UASB y filtros contenedores a escala piloto. *Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima, Perú.
- Berrios, L., & Urquiza, E. (2020). Tratamiento de aguas residuales del camal la Colina - Pedregal usando el método de reactor UASB. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Arequipa, Perú.



- Callata, J. (2014). Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani – Carabaya – Puno – 2013. *Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Chiriboga, I. J. (2016). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales “Ubillus”, en la parroquia Pintag e implementación del sistema de gestión integrado. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Correa, G. (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. *Universidad de Antioquia*. Medellín, Colombia.
- De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México Distrito Federal, México: Vision Impresa.
- Espitia Antonio, F. G. (2017). *DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA EN LOS*. (Tesis de Maestría), Universidad Técnica de Abanto, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Colombia.
- Espinoza Peralta, S. (2017). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del Distrito de Tumá*. (Tesis de Maestría), Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela de Postgrado, Chiclayo - Perú.
- Espinoza, S. (2017). Alternativas de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del distrito de Tumán. *Universidad de Lambayeque*. Chiclayo, Perú.
- Espitia, F. (2017). Diagnóstico, evaluación y planteamiento de mejora en los componentes de la planta de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyac. *Universidad Católica de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.



- Farias, B. (Setiembre de 2016). *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I)*. Obtenido de iagua - Connecting Waterpeople: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Freire, P. (Junio de 2012). Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa TEIMSA-Ambato. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Riobamba, Ecuador.
- Garzón, D., & Espino, R. (2005). *Características físico- químicas del agua residual*. Obtenido de <http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29021/propiedadesfisicasyquimica>
- Larios, F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer Revista de la Facultad de Ingeniería, II*, 10.
- Leyva, J. (2017). Diseño del sistema de alcantarillado en el caserío de Nuevo Edén, distrito de Nueva Cajamarca – provincia de Rioja – región San Martín. *Universidad Nacional de San Martín*. Tarapoto, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9028>
- Lothar, M. (1979). Pequeños sistemas de tratamiento de aguas residualesq. *Tratamientos preliminares*. Sao Paulo, Brasil: s/e.
- Maynas, O. (2018). Determinación de los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca. *Universidad Nacional del Altiplano- Escuela de Post Grado*. Puno, Perú.



- Menéndez , C., & Pérez, J. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales*. Ciudad de la Habana: Editorial universitaria.
- Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (Tercera ed., Vol. I). (G. Tchobanoglous, & F. Burton, Edits.) Madrid, España: McGraw- Hill, Inc.
- OS.090. (2006). OS.090 Plantas de tratamiento de agua residuales. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Megabyte Grupo Editorial.
- Panduro, R. (2017). Tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba en un biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto. *Universidad Nacional de San Martín*. Moyobamba, Perú.
- Paricahua, E. (Diciembre de 2018). Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar - Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Puente, H. (2017). Propuesta de una planta de tratamiento para la obtención de compost en la ciudad de Juli – Chucuito – Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería.
- Sálas, J. (16 de 11 de 2020). *El modesto tanque Imhoff: fundamentos y diseño*. Obtenido de Club iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/modesto-tanque-imhoff-fundamentos-y-diseno>



Sayers, M., & Karamidas, S. (1988). *The Little Book of Profiling*. Michigan, USA.

SINIA. (2018). *Tratamiento y reuso de aguas residuales-Parte 2* . Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental:
<https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054#:~:text=Los%20sistemas%20de%20tratamiento%20de,o%20su%20aprovechamiento%20mediante%20el>

SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Lima: Asociación gráfica educativa.

Valdez, E., & Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México: Fundación ICA, A.C.

Vildoso, V. (2017). *Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en el Perú*. Obtenido de OzPerú: <https://www.oz-peru.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-domesticas-peru/>

Yapu, C. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del municipio de San Buenaventura*. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.



ANEXOS

ANEXO A : ANÁLISIS DE ÁGUA RESIDUAL

A.1 : Informe 01

A.2 : Informe 02

A3 : Informe 03.

ANEXO B : DISEÑO DEL TREN DE TRATAMIENTO

B.1 : Pretratamiento

B.2 : Tratamiento Primario

B.3 : Tratamiento Secundario

B.4 : Tratamiento Terciario

ANEXO C : PLANO DE LEVANTAMIENTO EN CAMPO

C.1 : Cámara de rejas

C.2 : Desarenador

C.3 : Tanque imhoff

C.4 : Laguna

ANEXO D : PLANOS DE DISEÑO PROPUESTO

D.1 : Cámara de rejas

D.2 : Desarenador

D.3 : Tanque imhoff

D.4 : Filtro percolador

D.5 : Humedal artificial

D.6 : Desinfección

D.7 : Lecho de Secado