



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Tratamiento de aguas residuales mediante métodos convencionales en el Anexo de Ñahuimpuquio, Distrito de Ahuac, Región Junín en el 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Baquerizo Tong, Carlos Kiang (ORCID: 0000-0002-4341-0734)

ASESOR:

Mg. Benites Zúñiga, José Luis (ORCID: 000-0003-4459-494X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA-PERÚ

2020

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres y mis hermanos, por todo el ánimo y soporte brindado durante estos años, los cuales marcan un hito en mi vida y desarrollo profesional.

Agradecimiento

El presente trabajo fue elaborado gracias a los conocimientos y experiencias obtenidas durante el transcurso de mi vida universitaria, para el cual mis docentes cumplen un rol fundamental, pues fungieron con mucho empeño y dedicación.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	7
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	31
3.2. Variables y operacionalización.....	32
3.3. Población, muestra y muestreo.....	33
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	34
3.5. Procedimientos.....	34
3.6. Método de análisis de datos.....	35
3.7. Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS.....	36
V. DISCUSIÓN.....	36
VI. CONCLUSIONES.....	36
VII. RECOMENDACIONES.....	37
REFERENCIAS S.....	38
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las aguas residuales y origen.....	8
Tabla 2. Clasificación de microorganismos.....	10
Tabla 3. Límites máximos permisibles en los efluentes de las PTAR.....	12
Tabla 4. Factor de capacidad relativa	18
Tabla 5. Tiempo de digestión en días	19
Tabla 6. Tabla de confiabilidad y rango.....	34
Tabla 7. Coeficiente de Validez por Juicio de expertos.....	35
Tabla 8. Rango y Magnitud de validez.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Laguna de Ñahuimpuquio.....	3
Fig. 2 Agua residual doméstica en Ñahuimpuquio.....	3
Fig. 3 Colores indicadores de pH.....	12
Fig. 4 Tanque séptico.....	13
Fig. 5 Tanque Imhoff.....	16
Fig. 6 Cámara de sedimentación del Tanque Imhoff.....	17
Fig. 7 Cámara de digestión de lodos del Tanque Imhoff.....	19
Fig. 8 Vista planta tanque Imhoff.....	20
Fig. 9 Sección Laguna facultativa.....	25

RESUMEN

El anexo de Ñahuimpuquio, es un centro poblado ubicado a las orillas de la laguna de Ñahuimpuquio el cual es un punto de turismo, por sus paisajes y el centro arqueológico de Arwaturu. Motivo por el cual, es importante generar conciencia en la población sobre la conservación de las fuentes de agua y la importancia de realizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales para la conservación del medio ambiente. Para ello, en este presente trabajo de investigación, se tuvo como objetivo analizar la eficiencia de los métodos convencionales empleados para el tratamiento de los compuestos físicos, químicos y Microbiológicos de las aguas residuales del anexo de Ñahuimpuquio. Se tuvo que aplicar conocimientos de ingeniería sanitaria y la elaboración de ensayos físico-químicos y bacteriológicos de las aguas residuales, de los cuales se determinó que el biodigestor y el humedal artificial funcionando independientemente, no logran satisfacer los Estándares de Calidad del Ambiente para Agua, indicados en el D.S. N°004-2017-MINSA. Así mismo, se determinó que el humedal artificial tiene mejor eficiencia para la DBO5, en comparación con el biodigestor. Sin embargo, en cuanto al periodo de retención, el biodigestor es mucho menor que el del humedal artificial.

Palabras clave: aguas residuales, pozo séptico, humedal artificial

ABSTRACT

The annex of Ñahuimpuquio, is a populated center located on the shores of the Ñahuimpuquio lagoon which is a point of tourism, for its landscapes and the archaeological center of Arwaturo. Reason why, it is important to raise awareness in the population about the conservation of water sources and the importance of carrying out an adequate treatment of wastewater for the conservation of the environment. For this, in this research work, the objective was to analyze the efficiency of the conventional methods used for the treatment of physical, chemical and microbiological compounds in the wastewater of the Ñahuimpuquio annex. Knowledge of sanitary engineering and the preparation of physical-chemical and bacteriological tests of wastewater had to be applied, from which it was determined that the biodigester and the artificial wetland operating independently, fail to meet the Environmental Quality Standards for Water, indicated in the DS N ° 004-2017-MINSA. Likewise, it was determined that the artificial wetland has better efficiency for BOD5, compared to the biodigester. However, regarding the retention period, the biodigester is much less than that of the artificial wetland.

Keywords: sewage, septic tank, artificial wetland

I. INTRODUCCIÓN

Desde que se formaron las primeras civilizaciones en el mundo, el hombre ha comprendido la importancia de desarrollar sistemas de suministro de agua para poder abastecer y satisfacer una de las necesidades más básicas de las sociedades, las cuales gracias a esto pudieron crecer demográficamente y desarrollarse. Por consiguiente, se incrementó la demanda del agua y la generación de grandes cantidades de desechos sanitarios. Esto impulsó a la humanidad a diseñar sistemas de depuración de las aguas residuales.

La historia de la humanidad, evidenciada por los restos arqueológicos, indican que el primer pozo ciego o negro data del año 4000 a.C. en la ciudad de Babilonia¹. Con el pasar de los años, estas tecnologías fueron transmitiéndose a las nuevas generaciones y difundiéndose a otras culturas. En el año 3000 a.C. en Mohenjo-Daro, en el actual país de Pakistán, se construyeron edificaciones con sistemas de alcantarillado conectados a las calles y que desembocaban en pozos ciegos o en el río Indo. Por su parte, los griegos comenzaron a construir dos tipos de redes de alcantarillado para separar las aguas negras y las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales. De igual forma, crearon sistemas que les permitían reutilizar las aguas residuales para el cultivo, siendo los pioneros en esto. Posteriormente los Romanos perfeccionaron el sistema griego y lograron construir grandes urbes, dentro de las cuales muchas de ellas poseían baños públicos en sus calles y palacios denotando grandes avances para la época. Sin embargo, con el pasar de los años estas prácticas fueron perdiéndose, durante la Edad media las aguas negras eran tiradas a directamente a la calle, solo algunos palacios y construcciones contaban con sistemas de alcantarillado y disposición de aguas residuales. Motivo por el cual, comenzaron a surgir enfermedades por la falta de higiene como la peste negra y el cólera. Siendo estas pandemias mortales para gran parte de la población europea.

Debido a las enfermedades generadas por la carencia de tratamiento de aguas residuales, estudiosos y científicos comenzaron a investigar las fuentes de los focos

¹ (WE ARE WATER Foundation, 2017)

infecciosos y prototipos de sistemas de tratamiento comenzaron a difundirse y patentarse.

En la actualidad, todos los países del mundo cuentan con grandes urbes y zonas rurales, siendo estas últimas las que al estar alejadas de las ciudades y contar con menor población, generalmente carecen o no cuentan con sistemas de alcantarillado. Esto genera que la población que habita las zonas rurales tenga que recurrir distintos métodos de trata de aguas residuales, los cuales son un potencial foco de infección que afecta seriamente la salud de los seres vivos que habitan a los alrededores.

Según datos del INEI, en base a la encuesta Nacional de Programas Presupuestales, el año 2012 el Perú contaba con el 81.7% de cobertura de alcantarillado en zonas urbanas y 11.1% en zonas rurales. Posteriormente, el año 2018, estas cifras mejoraron teniéndose el 89.9% de cobertura en zonas urbanas y 19.5% en zonas rurales². En base a estas estadísticas, se puede notar un crecimiento significativo de la cobertura básica de redes de alcantarillado. Sin embargo, estos porcentajes reflejan un lento desarrollo y ejecución de proyectos sanitarios. Puesto que, no existe cobertura de redes de alcantarillado para más del 80% de hogares en zonas rurales. En el anexo de Ñahuimpuquio, las viviendas carecen de redes de alcantarillado y en general, disponen sus aguas residuales directamente a las quebradas o cultivos. Estas prácticas, pueden derivar en focos de infección afectando la salud de los pobladores. Sin embargo, para poder contar con un sistema sanitario, es necesario contar con un presupuesto estable que permita su auto sostenimiento, lo que complica la situación de los pueblos a nivel nacional.

² (INEI, *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*, 2019. Pág. 52)



Figura 1: Tuberías de salida de aguas residuales provenientes de una vivienda en el anexo de Ñahuimpuquio.

Tomando en consideración el tipo, nivel y calidad de tratamiento de aguas residuales, se puede disponer de estas como agua para riego de cultivos, de igual forma, los lodos pueden emplearse como abono, beneficiando económicamente y ecológicamente a los pobladores. Puesto que, también se previene la propagación de posibles enfermedades originadas por la carencia de instalaciones sanitarias como el cólera, la tifoidea, diarreas, entre otras.

Por lo antes expuesto, es necesario tomar mayor importancia en el desarrollo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales. Así mismo, es importante capacitar a los pobladores para que tomen conciencia sobre las repercusiones negativas que trae consigo la disposición de aguas residuales sin un adecuado tratamiento.



Figura 2: Efluente de aguas residuales de una vivienda, en el camino hacia las ruinas de Arhuaturo.

El **problema general** del presente trabajo de investigación es ¿Cómo analizar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales mediante los métodos convencionales aplicados en el anexo de Ñahuimpuquio, Distrito de Ahuac, Región Junín en el 2018?. Así mismo, Los **problemas Específicos** son ¿Cuál es la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de compuestos físicos de las aguas residuales?, ¿Cuál es la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de compuestos químicos de las aguas residuales? y ¿Cuál es la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de compuestos Biológicos de las aguas residuales?.

Teniendo en consideración las estadísticas que señalan la considerable deficiencia de los sistemas sanitarios en las zonas rurales del Perú, es necesario tomar medidas al respecto, teniendo en cuenta las condiciones y características básicas de la zona donde se realice el proyecto. Para ello, se analizará la factibilidad, ventajas y tratamiento de los compuestos físicos, químicos y biológicos de las

aguas residuales en Ñahuimpuquio. Este trabajo se realiza debido al bajo interés y desarrollo por parte de entidades del estado y comunidades que desconocen los peligros que puede generar el carecer de un adecuado tratamiento de aguas residuales. Es por esta razón, que se analizará el agua residual de una vivienda en el anexo de Ñahuimpuquio, para la cual se realizará un análisis físico, químico y biológico de agua. Posterior a ello se recopilarán los datos de la manera más precisa posible, para posteriormente evaluar cómo sería el tratamiento con cada uno de los métodos convencionales.

Es importante conocer los factores físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, y los tipos de tratamiento requerido para cada uno, para ello se seguirán la metodología y conceptos correspondientes para cada factor que componen las aguas residuales y el método que se recomendará a emplear. El primer paso para desarrollar el presente trabajo de investigación, consiste en recopilar información referida al tema de tratamiento de aguas residuales y métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. El segundo paso será la identificación de los métodos convencionales. Posteriormente, se procederá a tomar muestras y recopilar datos para realizar el análisis respectivo y hacer las conclusiones.

Para el presente trabajo, se revisaron tesis de grado referidas al tema de tratamiento de aguas residuales en el Perú y países de la región, cuyos sistemas de tratamiento son similares a los que se emplean en el Perú. También se verificó el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM y la norma técnica I.S. 020.

La **hipótesis general** del presente trabajo, que los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales son eficientes. De igual forma, las **hipótesis Específicas** son, los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos físicos de aguas residuales son eficientes, los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos químicos de aguas residuales son eficientes y los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos biológicos de aguas residuales son eficientes.

El objetivo general de esta tesis consiste analizar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales mediante los métodos convencionales aplicados en el anexo de

Ñahuimpuquio, Distrito de Ahuac, Región Junín en el 2018. Así mismo, los **objetivos específicos** son Determinar la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos físicos de las aguas residuales, determinar la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos químicos de las aguas residuales y determinar la eficiencia de los métodos convencionales para el tratamiento de los compuestos biológicos de las aguas residuales.

II. MARCO TEÓRICO

(Matos, 2017) Proyecto de Investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil de **título:** *“Propuesta viable de tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015”*. El cual tuvo como **objetivo:** Determinar una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015. El **tipo** de investigación es experimental puro. Para determinar la propuesta de tratamiento de aguas residuales más adecuada, se tuvo como **población** 15 tecnologías existentes, asimismo, la **muestra** fueron 8 tecnologías, las cuales fueron evaluadas en los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales. Para ello, los **instrumentos** empleados fueron tablas comparativas expuestas en cuadros con una descripción y una matriz de selección. Por otro lado, para determinar la sostenibilidad de las tecnologías seleccionadas se modeló el sistema de tratamiento seleccionado y se aplicó en la Urbanización “La planicie”, en el distrito de El Tambo. Los **resultados** indicaron que las tecnologías menos adecuadas para serían los filtros anaerobios, lodos activados y lagunas facultativas. Finalmente, las **conclusiones** del estudio fueron que, de las 15 alternativas tecnológicas analizadas en el contexto nacional, existen 8 tecnologías adecuadas para emplearse en la ciudad de Huancayo; siendo la más óptima el UASB+filtro percolador, puesto que, obtuvo mejores puntajes en los aspectos económicos, político y ambiental. De igual forma, del estudio realizado al sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la urbanización “La Planicie” se pudo deducir que su aplicación es rentable, pues en un plazo de 25 años se puede registrar una ganancia acumulada de S/. 191, 745.70.

(Medina, 2018) Proyecto de Investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario: *“Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estabilización del sector ‘rio seco’, distrito de la joya, provincia de Arequipa”*. El cual tuvo como **objetivo**: Evaluar físico y operativamente la PTAR “Río Seco”. Para cumplir con los objetivos tratados, se analizará el efluente teniendo en cuenta criterios sobre la remoción de componentes contaminantes y la eficiencia del tratamiento. Así mismo, rediseñar el sistema de tratamiento existente contemplando las normativas vigentes. Este proyecto de investigación, **concluyó** que el PTAR “RIO SECO” no cumple los LMP para efluentes de PTAR para aceites y grasas, demanda bioquímica y química del oxígeno. Lo que demuestra que el tratamiento de aguas residuales no cumple con las exigencias requeridas por la normativa vigente. Así mismo, se determinó que la propuesta de tratamiento técnicamente más compatible son las Zanjas de Oxidación; puesto que cumple con el LMP y el ECA-Agua, Categoría 3 D1: Riego de Vegetales; el cual demanda que la Demanda Bioquímica del Oxígeno debe ser inferior a 15 mg/L. Y los resultados del diseño bajo condiciones desfavorables fueron de 5.7 mg/L.

(Mejía, 2019) En la tesis para obtener el grado de Ingeniería Civil: *“Eficiencia de la adición de tres concentraciones de probióticos, en la calidad microbiológica del efluente de agua residual doméstica rural tratada en biodigestores”*, tuvo como **objetivo** general: Determinar la eficiencia del tratamiento del agua residual doméstica rural en biodigestores estándar con la aplicación probióticos. Para poder cumplir con el objetivo trazado, se evaluó la calidad del efluente de un biodigestor de 600 L de capacidad. Al cual se le adicionó concentraciones de probióticos en una progresión logarítmica (1 Litro, 10 Litros y 100 Litros) obteniéndose resultados de 3 muestras para ser evaluadas según los Límites máximos permisibles establecidos mediante DS 004-2017-MINAM. De los **resultados** obtenidos, se pudo **concluir** que los mejores resultados se obtuvieron de la muestra a la que se le añadió 100 L de consorcios microbianos (probióticos), puesto que su eficiencia respecto a la remoción de coliformes termo tolerantes presentes en el agua residual fue de 94%, logrando así disminuir sus valores de NMP $\geq 2400/100\text{mL}$ hasta

NMP=150/100mL cumpliendo así con los parámetros indicados en el DS 004-2017-MINAM.

(Pichiule, 2018) En la tesis para obtener el grado de Ingeniero Ambiental titulada: *Diseño de un Humedal Artificial con la Especie "Schoenoplectus Californicus" en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín - 2018*. La cual tuvo como **objetivo**. Evaluar la eficiencia de un humedal artificial con Schoenoplectus Californicus empelado para el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac. La **metodología** aplicada es de tipo explicativo con diseño experimental. Se tuvo como resultado que después de 72 días de tratamiento, el crecimiento promedio inicial de las especies adaptadas al humedal fue de 63.5 y el final de 77.86, lo que representa un mayor crecimiento de las plantas según lo establecido. Las **conclusiones** de la investigación fueron: que el tratamiento de aguas residuales con un humedal artificial con la especie "Schoenoplectus Californicus", durante sus primeros 3 meses de tratamiento, logró limpiar el agua de manera notable, logrando disminuir de manera progresiva la materia física, química y biológica que contaminan las aguas.

(Gómez y Gonzales, 2016) Tesis para obtener el grado de Ingeniero civil titulada: *"Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca"*. La cual tuvo como **objetivo** Evaluar de forma técnico-operativa el tratamiento de aguas residuales con zanjón de oxidación del municipio de Bojacá-Cundinamarca. Para el cual tuvo 3 fases de investigación. La primera consistió en recopilar información de la ejecución, mantenimiento y características de la planta de tratamiento. La fase dos consistió en realizar visitas técnicas a la planta de tratamiento y recopilar datos para obtener más información. Finalmente, la fase 3 consistió en Realizar los cálculos de diseño, elaborar los planos y presentación de resultados. Se tuvo como **conclusión**, que la PTAR del municipio de Bojacá no logra cubrir la demanda del caudal que ingresaba a la planta. Es decir, es necesario rediseñar el sistema de tratamiento ya sea empleando otro método o ampliando las dimensiones de tal forma que pueda cumplir con las características requeridas por la población. Así mismo, con respecto a la DBO se obtuvo un porcentaje de remoción por carga de 71.05%, el cual está por debajo del 80%

establecido en las normas correspondientes. Es por esta razón, para poder optimizar la PTAR se deben emplear un sistema de pantallas para poder retener las grasas y así facilitar el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

(Lema, 2018) Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil titulado: *“Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales no.14 de la parroquia san pablo del lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura”*. El cual tuvo como **Objetivo**: Evaluar preliminarmente la PTAR No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Para el cual se describió las características técnicas del sistema de redes de alcantarillado y el sistema de tratamiento. Así mismo, se realizó análisis de laboratorio de las aguas residuales, del agua con tratamiento primario y el agua de la planta depuradora. La metodología consistió en buscar bibliografía referida al tratamiento de aguas residuales. También se realizaron trabajos de campo para la obtención de muestras, medición de caudales y registro de información requerida para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se evaluarán los resultados obtenidos y se realizará las conclusiones. Fundamentando con los resultados producto de la investigación, se puede **concluir** que el caudal promedio es de 6.40 L/s, el cual no alcanza el caudal de diseño (13.64 L/s). Con respecto a la eficiencia total de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, fue de 88.24%. Así mismo, la eficiencia de la eliminación de coliformes fue de 97.33%. Motivo por el cual, en base a la normativa el valor de DBO en el efluente de la planta es óptimo para descarga en corrientes de agua dulce de 100 mg/L. Sin embargo, se pudo determinar que el tratamiento secundario en la planta analizada es deficiente, debido a que los niveles de coliformes fecales impiden que sean aptos para el uso agrícola o para uso humano.

(Yapu, 2018) En la tesis de grado titulado: *“Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del municipio de San Buenaventura”*, cuyos **objetivos** fueron: Recuperar aguas residuales domésticas a través de un Biodigestor anaeróbico, obteniendo agua de tratamiento primario para el aprovechamiento en uso agrícola. La metodología consistió en evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas

con un Biodigestor y ver su eficiencia. Así mismo, también se necesitó hacer un análisis físico, químico y biológico de la entrada y salida del biodigestor. Por otro lado, los resultados de este proyecto de investigación fueron los siguientes. La Demanda Bioquímica de Oxígeno se obtuvo resultados positivos, pues se obtuvo 223.33 mg/L, el cual es menor al límite admisible. Así mismo, se pudo observar una disminución de los compuestos microbiológicos; sin embargo, se detectó coliformes y *Escherichia coli*. Esto se debe a que la temperatura de salida del biodigestor varía entre 30 y 36 grados centígrados. De los resultados obtenidos de los análisis y expuestos anteriormente se puede **concluir** que: Con respecto a la DBO5 se obtuvo una concentración promedio de 198.82 mg/L, el cual sobrepasa el límite establecido según la normativa local que es de 80 mg/L máximo al día. La DQO obtenida fue de 223.33 mg/L estando dentro del rango que es de 250 mg/L como máximo. Por otro lado, la remoción de sólidos disueltos fue de 157.32 mg/L, el cual tuvo un impacto considerablemente positivo en comparación con lo estipulado en las normas locales. Finalmente, es necesaria la participación de la comunidad para que este sistema funcione. Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, es necesario tener conocimiento de los siguientes conceptos:

Aguas residuales: Las aguas residuales se clasifican según su origen, estos son las que provienen de uso doméstico, industrial o agrícola³. Lo genera que los compuestos físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales varíen dependiendo de su origen. El proceso de purificación de los efluentes provenientes de las alcantarillas, consiste en limpiar el agua y separarlo de agentes contaminantes, para el cual se emplean agentes químicos, físicos y biológicos antes de verterla en cauces o reutilizarla para riego de cultivos y plantas.

Podemos afirmar que el tratamiento de aguas residuales consiste en transformar las aguas usadas mediante un determinado sistema en un efluente, cuyos parámetros se encuentren entre los parámetros admitidos en las normas correspondientes; además debe ser amigable con el medio ambiente. Es decir, el agua tratada debe tener condiciones óptimas para ser vertida o reutilizada. Así mismo, debe contar con una eficiente disposición de lodos producidos durante el

³ (ECOLOGÍA VERDE, 2018)

tratamiento de purificación del agua. Para proyectar un sistema de aguas residuales es importante saber los componentes del agua residual y su origen. Si estimamos las proporciones de los sólidos de las aguas residuales domésticas, se tiene un 99.9% de agua y el 0.1% restante está conformado por sólidos. Los sólidos se constituyen por materia orgánica. Los primeros provienen de los productos empleados en la rutina diaria, mientras que los otros, tienen un origen netamente humano el cual se constituye por proteínas y grasas⁴.

En la tabla 1 – Características de las aguas residuales y origen, podemos observar las principales características físicas, químicas y biológicas. Así mismo, se puede observar que los residuos químicos inorgánicos en su mayoría son provenientes de residuos industriales.

Tabla 1- Características de las aguas residuales y origen

Características físicas	
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Descomposición de residuos líquidos
Características químicas	
Orgánicos	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Aceites y grasas	Residuos comerciales, industriales y domésticos
Tensoactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Inorgánicos	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Residuos agrícolas, industriales y domésticos
Azufre	Suministro de agua y residuos industriales
Tóxicos	Residuos industriales
Metales pesados	Residuos industriales
Gases	
Oxígeno	Suministro de agua e infiltraciones
Hidrógeno sulfurado	Residuos domésticos
Metano	Residuos domésticos
Características biológicas	
Virus	Residuos domésticos
Bacterias	Residuos domésticos
Protozoarios	Residuos domésticos
Nematodos	Residuos domésticos

Fuente: (ROJAS, 2002, pág.7)

⁴ (ROJAS, 2002. pág. 4-5)

Parámetros físicos: Los componentes físicos de las aguas residuales son un indicador de la calidad del agua residual, debido a los procesos por los que atraviesa y las probables deficiencias durante su tratamiento en una PTAR⁵.

Estos componentes pueden ser medibles y los principales son los compuestos sólidos, el color, la temperatura y el olor. A continuación, se describe lo antes descrito

Compuestos sólidos: Existe tres tipos de sólidos que presentes en las aguas residuales. Los primeros son los sólidos sedimentables, estos son los sólidos los que pueden sedimentarse en el fondo de un cono Imhoff en un periodo de 60 minutos. El segundo tipo son los sólidos volátiles, los cuales son pequeñas porciones orgánicas que se volatilizan a una temperatura aproximada de 550 ± 50 °C. El tercer tipo, son los sólidos totales, los cuales pueden definirse como la materia restante de la evaporación de un agua residual entre 103 y 105 °C. Los sólidos totales pueden dividirse en dos tipos: Los solubles y no solubles. Los sólidos solubles tienen un tamaño de partícula inferior a 1,2 μm . Mientras que los sólidos no solubles son los de mayor tamaño al de los sólidos solubles, es decir superior a 1,2. μm

Color: Las aguas residuales domésticas desde que son eliminadas mediante las redes de alcantarillado presentan una coloración, con la cual se puede verificar la antigüedad del agua residual. Es decir, al momento inicial, las aguas residuales tienen una coloración gris clara. Sin embargo, con el transcurso del tiempo estas se vuelven negras.⁶

Temperatura: La temperatura es un factor físico con significativa relevancia. Pues, el agua residual doméstica usualmente tiene una temperatura ligeramente superior a la de agua potable, la cual podría generar un incremento de bacterias y hongos.⁷

Olor: Los hedores producidos por las aguas residuales se debe principalmente a la putrefacción de materia orgánica, debido a la liberación de gases⁸.

⁵ (DELGADILLO y otros, 2010, pág. 53.)

⁶ (ROMERO, 2000, pág.37-68)

⁷ (BORJA, 2012, pág.12)

⁸ (METFALF y EDDY, 1996)

Parámetros químicos: Existen diferentes parámetros para describir los componentes químicos de las aguas residuales, estos se agrupan en tres grupos: La materia orgánica, materia inorgánica y los gases. Los cuales se denotan a continuación.

Materia Orgánica: En las aguas residuales se puede encontrar compuestos orgánicos, los cuales provienen principalmente de residuos animales o vegetales. Los elementos químicos que predominan en estas materias son el Carbono, Oxígeno e Hidrógeno.

Oxígeno disuelto (od): Al término del siglo XIX, durante el proceso de evolución de los sistemas sanitarios, se descubrió que el Oxígeno disuelto estaba directamente relacionado con la contaminación de agua. Puesto que, si en una muestra de agua existen muchos microorganismos, estos requerirán de mayores cantidades de oxígeno.⁹ El OD en agua es esencial para los seres bióticos ya sean animales o vegetales. Estos se desarrollan por el oxígeno presente en las aguas residuales. El OD cual puede aumentar o disminuir debido al cambio de la temperatura y las reacciones químicas.¹⁰

Demanda bioquímica del oxígeno (DBO): La DBO consiste en medir el oxígeno consumido por bacterias mientras oxidan la materia orgánica biodegradable. En el año de 1936, la Asociación Americana de Salud Pública estableció un procedimiento para calcular la DBO. Este proceso se denomina DBQ5 y se trabaja en laboratorios en condiciones controladas. La temperatura debe ser 20 °C en un plazo de 5 días y se expresa en mg/L. El ensayo consiste en colocar muestras de agua en botellas de incubación medir el Oxígeno Disuelto de una muestra con un medidor de oxígeno al inicio y otra luego de 5 días.¹¹

La cantidad de DBO5 con respecto a la cantidad de oxígeno se calcula con fórmula siguiente:

$$DBO (final) = \frac{OD (inicio) - OD (5 día)}{p} \dots \dots \dots (1)$$

⁹ (RAFFO y RUIZ, 2014, pág. 75)
¹⁰ (BORJA, 2012, pág.15)
¹¹ (RAFFO y RUIZ, 2014, pág. 76)

Donde:

OD (inicial) = Oxígeno disuelto inicial (ppm). F

OD (5 día) = Oxígeno disuelto al quinto día (ppm)

P = desperdicios

Materia Inorgánica: Las sustancias inorgánicas presentes en las aguas residuales se generan por el contacto con formaciones geológicas y por el desecho de minerales. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales son el PH, Cloruros, Nitrógeno, Fósforo, Azufre y Metales pesados. Los cuales generalmente provienen de residuos industriales, agrícolas y domésticos.¹²

pH: Para la determinación del potencial de hidrógeno (pH), se pueden emplear distintos métodos como los colorantes reactivos, los cuales al mezclarse con el agua toman una coloración la cual permite reconocer el nivel de pH que presenta la muestra. Otro método para determinar el pH es mediante el medidor digital de pH.

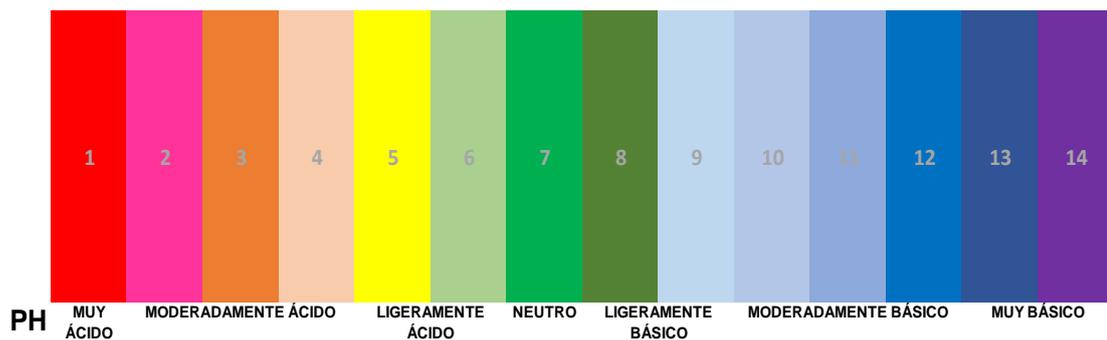


Figura 3- Colores indicadores de PH

Parámetros biológicos: Toda agua residual, posee microorganismos, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud y los ecosistemas. Es por ello que se debe tomar mucha importancia a los organismos biológicos.

Coliformes: Estos pueden clasificarse en dos grupos. Los coliformes totales y los coliformes fecales. Los totales, son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulado, los cuales de tener condiciones óptimas de humedad, temperatura y pH, pueden llegar a reproducirse fuera del cuerpo de un organismo. Por otro lado, los coliformes fecales tienen dimensiones de 0.0002 a 0.0003 mm por 0.0002 a

¹² (DELGADILLO y otros, 2010, pág. 74)

0.0003 mm y a diferencia de los coliformes totales, estos pueden tolerar temperaturas de hasta 44.5 °C. Se debe tener en consideración que los coliformes totales representan más de 90% de las bacterias presentes en las heces humanas.¹³

A continuación, en la tabla 2 se muestra los grupos de microorganismos presentes en aguas residuales.¹⁴

Tabla 2- Clasificación de microorganismos

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

Fuente: (METCALF y EDDY, 1996)

Ensayos Físico, Químicos y Bacteriológicos: Los ensayos que se realizan para analizar el agua consisten en tomar muestras de un determinado caudal, llevarlas al laboratorio para determinar los componentes físicos, químicos y Biológicos; los cuales determinarán el nivel de calidad de agua. Para ello, se realiza medición de aceites y grasas (mg/L), Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL), Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/L), Demanda química de Oxígeno (mg/L), pH (und), Sólidos totales, entre otros. Según decreto supremo N°003-2010-MINAM se aprobaron los Límites máximos permisibles para los efluentes de las PTAR domésticas o de municipalidades.

¹³ (DELGADILLO y otros, 2010, pág. 62-63)

¹⁴ (HAMMEKEN y ROMERO, 2005, pág. 30-31)

Tabla 3- Límites máximos permisibles en los efluentes de las PTAR¹⁵

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (D.S. N°003-2010-MINAM)

Tanque séptico: Es un sistema individual para el tratamiento de aguas residuales que puede aplicarse en comunidades, escuelas o centros médicos en zonas rurales que carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se debe tener en consideración que este método se emplea generalmente en comunidades de poca población y que carezcan de sistemas de alcantarillado¹⁶.

Los tanques sépticos tienen tres fases en su funcionamiento. La primera consiste en la sedimentación de las partículas y sólidos de mayor volumen y peso, Estas se depositan en el fondo del tanque donde se descomponen por las condiciones anaerobias. Las natas y grasas al tener menor densidad en comparación con el agua, tienden a distribuirse en la superficie superior del nivel de agua. La segunda fase se da durante el drenaje. Debido a las bacterias adheridas a las piedras la materia orgánica sedimentada se biodegrada. Así mismo, en esta fase la capacidad de absorción del terreno cumple una función importante. Finalmente, la tercera fase consiste en la remoción de lodos. Para ello es necesario remover la materia sedimentada en el fondo y las natas que flotan en la superficie del agua del tanque.¹⁷

¹⁵ (Decreto Supremo N°003-2010-MINAM)

¹⁶ (CEPIS, 2005, pág.4)

¹⁷ (ROSALES, E. 2005, pág. 26.)

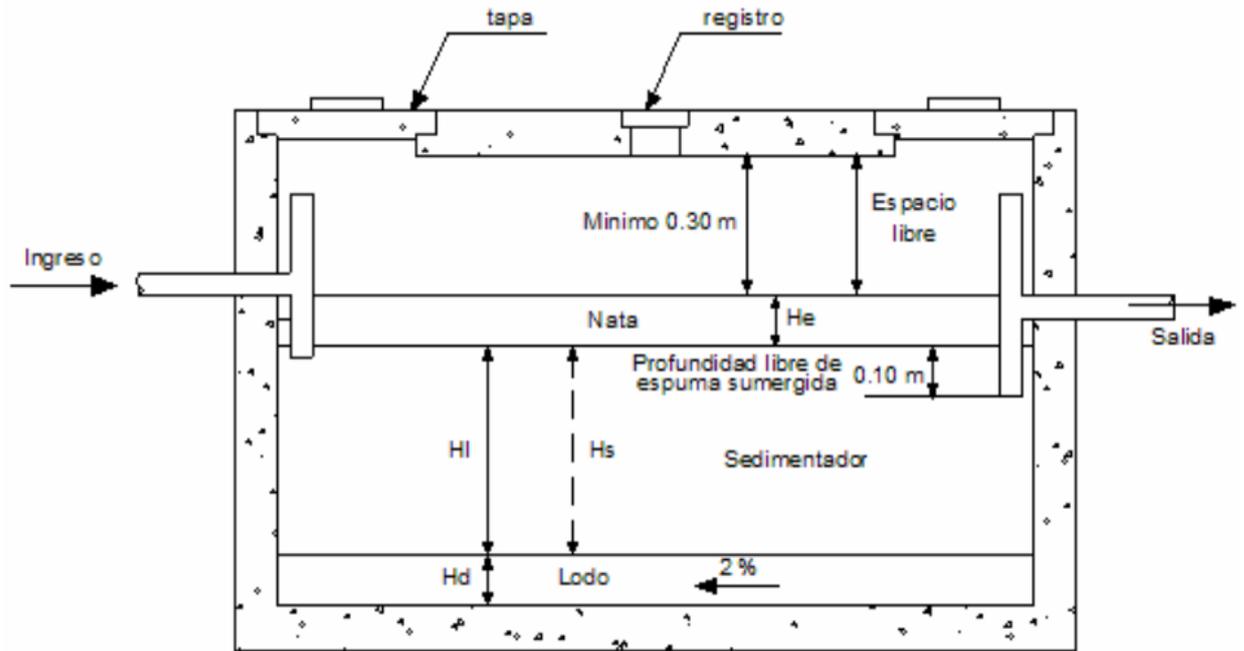


Figura 4- Tanque séptico¹⁸

El empleo de un pozo séptico es ideal para comunidades rurales; pues es de bajo costo y nivel de dificultad de mantenimiento y operación. Así mismo, no requiere de mantenimiento constante. Entre las desventajas más considerables del pozo séptico es su capacidad limitada de un máximo de 350 habitantes. Así mismo, requiere de sistemas de extracción de lodos como bombas y camiones bomba de vacío.¹⁹

El método planteado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria para diseñar un tanque séptico, se describe a continuación:

Retención Hidráulica (PR)

$$PR = 1.5 - 0,3 \log(PxQ) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

PR: Periodo de retención hidráulica (días)

P: Población (hab)

Q: Caudal de aguas residuales (L/hab*día)

¹⁸ (Norma Técnica IS 0.20 TANQUES SÉPTICOS)

¹⁹ (CEPIS, 2005, pág.6)

Volumen - sedimentación (Vs)

$$V_s = 10^{-3} \times P \times Q \times (PR) \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Vs: volumen para la sedimentación (m3)

Volumen - digestión de lodos (Vd)

$$V_d = 70 \times 10^{-3} \times P \times N \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

N: Intervalo de remoción de lodos (años)

Volumen - lodos

La temperatura ambiental es importante para conocer la cantidad de lodos que genera un poblador durante un año. Es decir, el volumen de lodos producidos depende de la estación.

- Clima cálido 40 L/(hab * año)
- Clima frío 50 L/(hab * año)

Volumen - natas

El volumen debe ser de 0,7 m3 como mínimo.

Profundidad máxima de espuma (He)

$$H_e = \frac{0.7}{A} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

A: Área superficial del tanque (m2).

He: Profundidad máxima de espuma sumergida (m)

Profundidad libre de lodo (Ho)

$$H_o = 0.82 - 0.26 \times A \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

Ho: Profundidad libre de lodo (m)

Profundidad mínima para la sedimentación (Hs)

$$Hs = \frac{Vs}{A} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

Hs: Profundidad mínima para sedimentación (m)

Profundidad de espacio libre

Esta longitud comprende desde la profundidad de lodos hasta la superficie la parte libre de espuma sumergida. Se elige la longitud mayor:

- Profundidad de espacio libre mínimo total = $0,1+H_o$
- Profundidad mínima para sedimentación = Hs

Profundidad total del tanque séptico

Profundidad total de tanque = $H_e + H_o + H_s$

Tanque Imhoff y lecho de secado: El tanque imhoff realiza un tratamiento primario para las aguas residuales. Además, ofrecen varias ventajas para su tratamiento, puesto que al tener doble función debido a sus compartimientos. En el primer compartimiento los sólidos se sedimentan, mientras que en el segundo se digieren de forma anaeróbica. Así mismo, los tanques Imhoff tienen un funcionamiento para poblaciones menores a 50,00 habitantes, lo que hace que sea ideal para las zonas rurales. Los tanques Imhoff poseen tres compartimientos, La primera se denomina cámara de sedimentación, la segunda es la cámara de digestión de lodos y la última es el área de ventilación y acumulación de natas. Cabe resaltar que los tanques Imhoff son de fácil operación por lo que no requiere de personal especializado. Así mismo, es de mantenimiento periódico. El empleo del tanque Imhoff, posee muchas ventajas tales como poseer un mejor sistema de digestión de lodo en comparación del pozo séptico, el lodo se seca y se evacua de manera fácil, no descargan el lodo en el líquido afluente, posee un bajo costo de construcción y operación, requiere

una poca área de construcción en comparación con las lagunas de estabilización. Las desventajas del empleo de tanque Imhoff es que requiere una estructura profunda superior a los 6 metros, es difícil de construir en terrenos arenosos o rocosos y el afluente del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.²⁰

Diseño de Tanque Imhoff: Para el diseño del Tanque Imhoff, se tiene que tener el caudal de diseño como punto de partida. Así mismo, el diseño se puede dividir en tres fases, la primera consiste en el diseño de la cámara de Sedimentación, el segundo, la cámara de digestión de lodos y el tercero, el lecho de secado, los cuales se exponen a continuación:

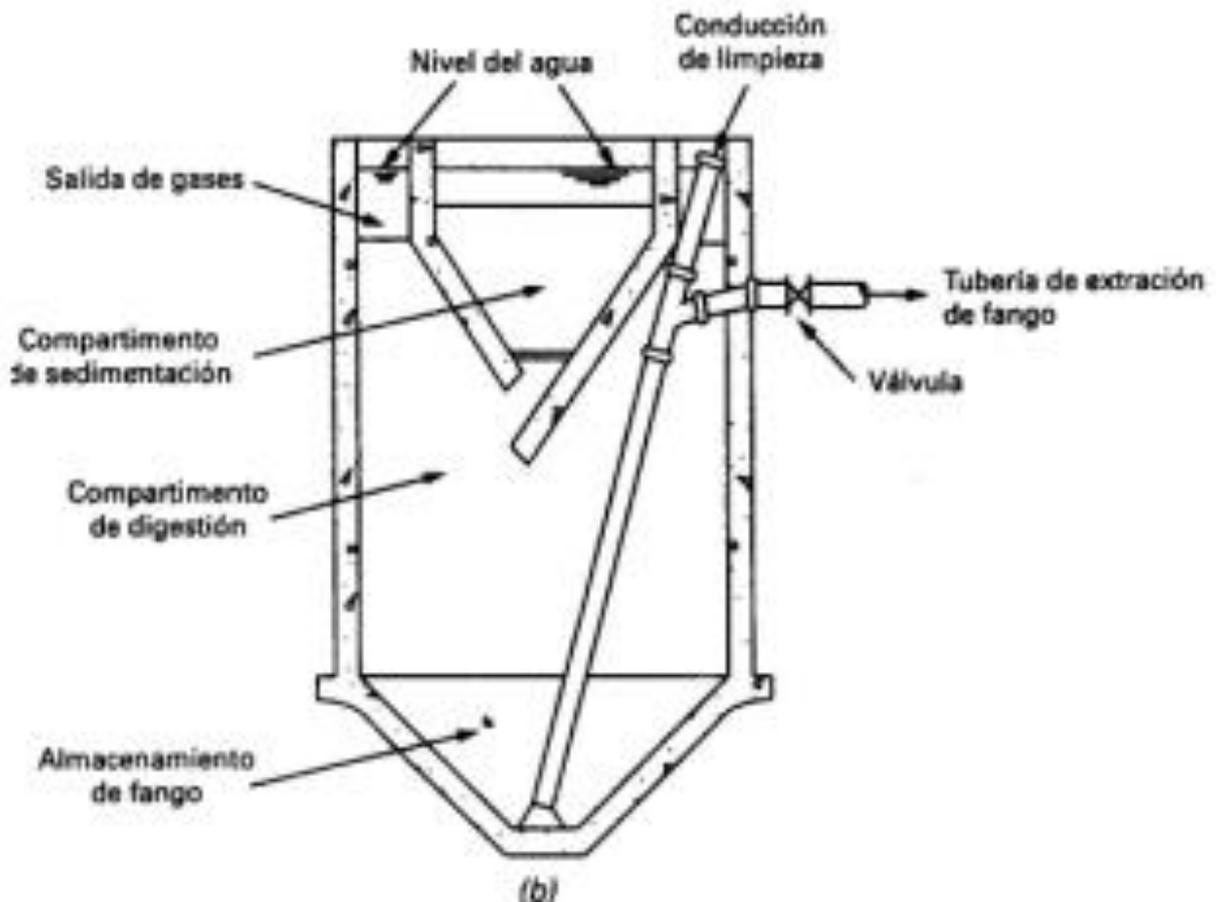


Figura 5- Tanque Imhoff²¹

²⁰ (CEPIS, 2005, pág.11-13)

²¹ (CEPIS, 2005, pág.14)

Cámara de Sedimentación

Caudal (Qp)

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{1000} \times \% \text{ contribución} \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

Dotación (L/hab/día)

Qp: Caudal de diseño (m3/hora)

Área del Sedimentador (m2)

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

Cs: Carga superficial = 1m3/(m2*hora)

Volumen del Sedimentador (m3)

$$V_s = Q_p \times R \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

R: Periodo de retención hidráulica, (1,5 - 2,5) horas.

Qp: Caudal de diseño (m3/hora)

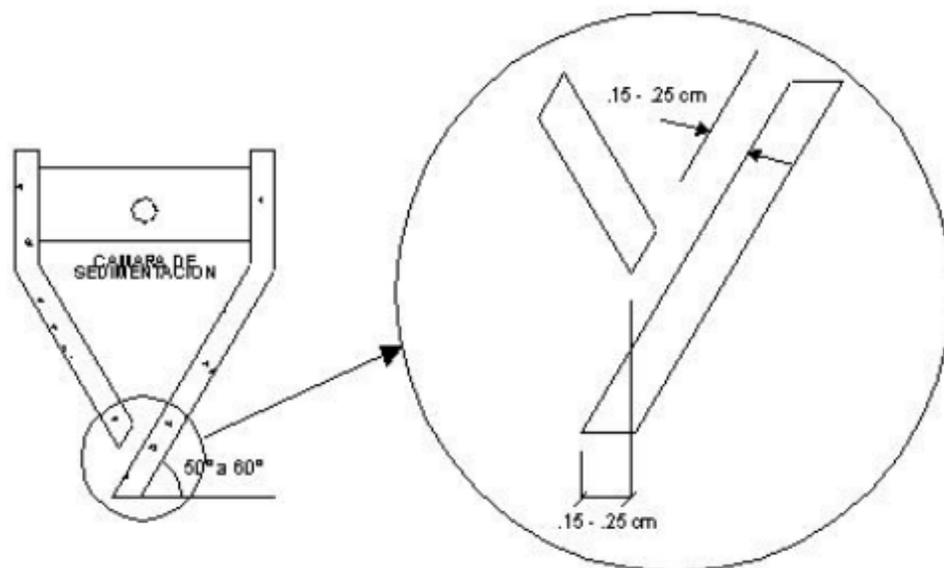


Figura 6- Cámara de sedimentación²²

²² (CEPIS, 2005, pág.15)

Longitud mínima de salida del vertedero (m)

$$Lv = \frac{Q_{max}}{Chv} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

Qmax: Caudal máximo (m3 /día).

Chv: Carga hidráulica sobre el vertedero de 125 a 500 m3 /(m*día)

Cámara de digestión

Se debe considerar la siguiente tabla:

Tabla 4- Factor de capacidad relativa²³

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

Fuente: (CEPIS, 2005, pág.16)

Volumen de almacenamiento y digestión (m3)

$$Vd = \frac{70xPxfer}{1000} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

fcr: factor de capacidad relativa (tabla 4)

P: Población.

²³ (CEPIS, 2005, pág.16)

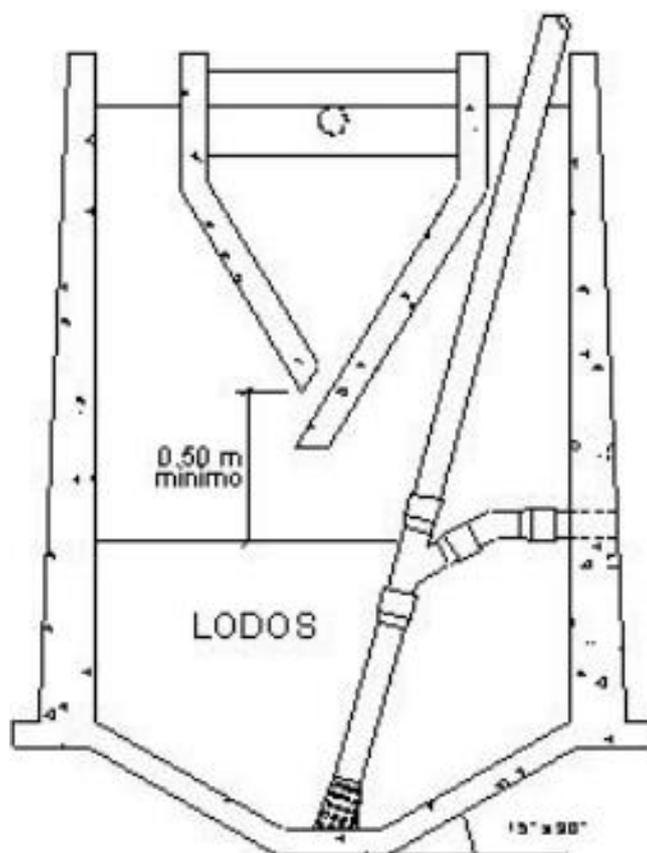


Figura 7- Cámara de digestión de lodos²⁴

Tiempo de digestión de lodos

La digestión de lodos puede variar dependiendo de la temperatura, En la siguiente tabla se puede observar el tiempo de digestión en días de acorde a la temperatura.

Tabla 5 - Tiempo de digestión en días²⁵

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (CEPIS, 2005, pág.16)

²⁴ (CEPIS, 2005, pág.16)

²⁵ (CEPIS, 2005, pág.16)

Extracción de lodos

El diámetro mínimo a emplearse para la remoción de lodos = 200 mm y debe colocarse 0.15 m por sobre el fondo del tanque. La altura hidráulica mínima debe ser 1,80 m.

Área de ventilación y cámara de natas

El espacio libre debe ser mayor a 1,0 m, además, la superficie libre debe ser equivalente a al 30% del área de la superficie del tanque y el borde libre debe tener al menos 0.30 m.

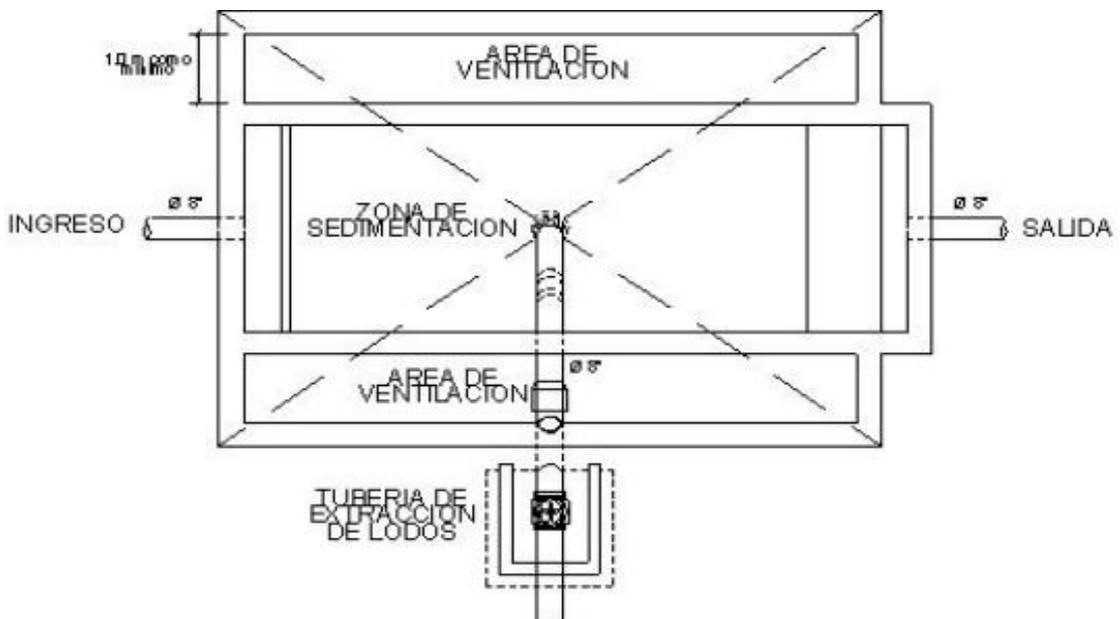


Figura 8- Vista en planta del tanque imhoff²⁶

Lechos de secados de lodos

Carga de sólidos que ingresan al Sedimentador (Kg SS/día)

$$C = Q \times SS \times 0.0864 \dots \dots \dots (13)$$

$$C = \frac{\text{Población} \times \text{Contribución per cápita} \left(\frac{\text{grSS}}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right)}{1000} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

²⁶ (CEPIS, 2005, pág.18)

SS: Sólidos en suspensión en el agua residual (mg/litro)

Sólidos que conforman los lodos (Kg SS/día)

$$Msd = (0.5 \times 0.7 \times 0.5 \times C) + (0.5 \times 0.3 \times C) \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

Msd: Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg SS/día)

Volumen diario de lodos digeridos (litros/día)

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} \times (\% \text{ sólidos}/100)} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

ρ_{lodo} : Densidad de los lodos = 1,04 Kg/l.

% de sólidos: entre 8 y 12%.

Volumen de lodos a extraerse del tanque (m3)

$$Vel = \frac{Vld \times Td}{1000} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

Td: Tiempo de digestión, en días (tabla 4)

Área del lecho de secado (m2)

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

Ha: Profundidad de aplicación (0,20 - 0,40) m

Para obtener las dimensiones del lecho de secado, se resuelve con la siguiente relación

$$\frac{\text{Rend.vol del digestor}(m^3/\#personas)}{\text{Número de apl.}(años) \times \text{Prof.de inundación (m)}} = \frac{\text{m}^2 \text{ de lecho}}{\text{habitantes}} \dots\dots\dots (19)$$

Medio de drenaje

El soporte debe ser conformado por una capa conformada por ladrillos h=0.15 m colocados sobre el medio filtrante, con separaciones de 2 o 3 cm rellenos de arena aproximadamente. El tamaño de la arena debe tener un de 0,3 a 1,3 mm, y coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Debajo de la arena se coloca una capa de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6" y 2") y de e = 0,20 m

Laguna de estabilización: El funcionamiento de este sistema consiste en embalsar los efluentes residuales con el objetivo de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas, mediante la sedimentación, debido a sus periodos de retención largos. Sus profundidades dependen de la demanda de la población y van de 2 a 4 metros aproximadamente. Entre las ventajas más destacables de las lagunas facultativas está su gran capacidad para almacenar agua residual; también no requiere de otros sistemas para producir oxígeno, no requiere personal para realizar, mantenimiento y debido a sus tiempos de retención prolongados son sistemas muy eficientes para la remoción de bacterias y virus. Las principales desventajas de la laguna de estabilización está la necesidad de disponer de un área de terreno bastante grande para construirse, es un sistema que se puede ver afectado por los cambios climáticos y puede producir vectores.²⁷

Diseño de Laguna de estabilización: Al igual que los demás métodos de saneamiento, para el diseño de la laguna de estabilización se inicia desde el caudal de diseño, el cual está directamente relacionado con la cantidad de población. Así mismo, se debe seguir la secuencia que se expone a continuación:

Caudal (Qp)

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{1000} \times \% \text{ Contribución} \dots\dots\dots (20)$$

²⁷ (CEPIS, 2005, pág.23-28)

Donde:

Qp: Caudal de diseño (L/hab/día)

Carga orgánica (C)

$$C = \frac{\text{Población} \times \text{Contribución per cápita} \left(\text{gr} \cdot \frac{\text{DBO}}{\text{hab} \times \text{día}} \right)}{1000} \dots\dots\dots (21)$$

$$C = Qp \times \text{DBO5} \times 0.0864 \dots\dots\dots (22)$$

Donde:

C: Carga orgánica (Kg.DBO/día)

Qp: (L/s)

temperatura (ambiente vs agua)

Si $T^\circ < 25^\circ\text{C}$

$$T^\circ \text{ agua} = T^\circ \text{ amb} + 1^\circ\text{C}$$

Si $T^\circ > 25^\circ\text{C}$

$$T^\circ \text{ agua} = T^\circ \text{ amb} - 1^\circ\text{C}$$

Carga Superficial Kg DBO/Ha*día

Norma S090 – RNC:

$$CS_{\text{diseño}} = 250 \times 1.05^{(T-20)} \dots\dots\dots (23)$$

CEPIS:

$$CS_{\text{diseño}} = 357.4 \times 1.085^{(T-20)} \dots\dots\dots (24)$$

Donde:

Cs: Carga superficial de diseño = Kg DBO/ (hab x día)

T: temperatura del agua promedio del mes más frío (°C)

Área de la laguna (Ha)

$$\text{Área} = \frac{C}{CS_{\text{diseño}}} \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

C: carga orgánica (Kg.DBO/día)

Cs diseño: Carga superficial de diseño en Kg DBO/ (hab x día)

Área de cada laguna

$$Ac/laguna = \frac{\text{Área}}{n} \dots\dots\dots (26)$$

Donde:

n: Número de lagunas

Relación: largo/ancho de la laguna

$$\frac{L}{W} = 2 - 3 \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

L: Largo de laguna

W: ancho de laguna

Profundidad de la laguna (Z)

La profundidad de la laguna va de 1.5 hasta 2.5 metros.

Z= 1.5 hasta 2.5 m.

Talud (Zp)

El talud varía de 1.5 a 3.

Borde libre

La distancia mínima para el Borde libre es 0,50 m

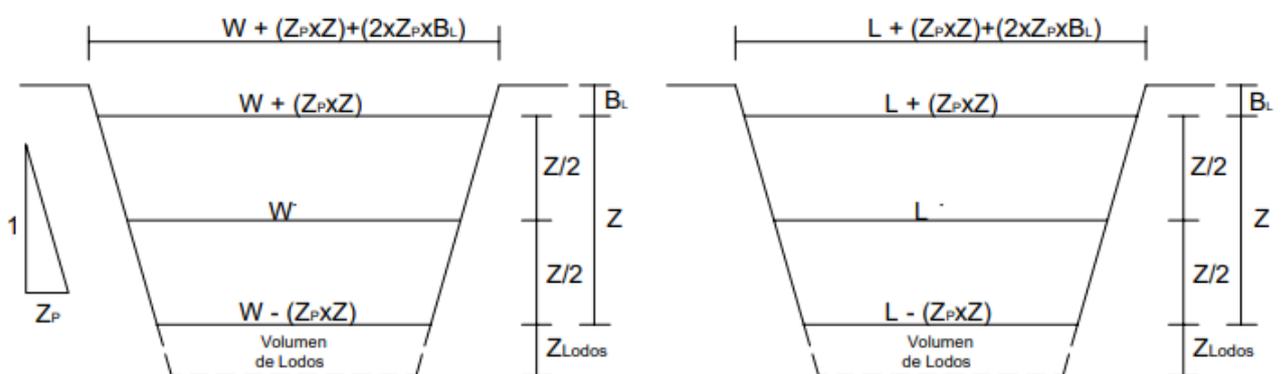


Figura 9- Sección laguna facultativa²⁸

²⁸ (CEPIS, 2005, pág.30)

Volumen de lodos (m3)

$$V_{lodos} = \frac{Pob \times Ta \times N}{1000} \dots\dots\dots (28)$$

Donde:

Pob: Población.

Ta: Tasa de acumulación de lodos. (100 - 120) litros/habx año.

N: Periodo de limpieza (5 - 10) años.

Altura de lodos (m)

$$Z_{lodos} = \frac{V_{lodos}}{A_f} \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

A_f: área del fondo de la laguna (m²).

Periodo de retención (días)

$$PR_{real} = PR_{teórico} \times F_{ch} \dots\dots\dots (30)$$

$$PR_{teórico} = \frac{Volumen}{Q_e} \dots\dots\dots (31)$$

Donde:

F_{ch}: factor de corrección hidráulica

Q_e: diferencia del Caudal promedio y caudal de evaporación e infiltración

Cálculo de factor de dispersión

$$d = \frac{1.158 \times [R \times (W + 2Z)^{0.489}] \times W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} \times (L \times Z)^{1.489}} \dots\dots\dots (32)$$

Donde:

W: ancho de laguna

L: largo de laguna

Z: profundidad de laguna

R: periodo de retención de la laguna.

T: temperatura del agua, en °C

El valor de "d" debe ser menor de 2.

Cálculo de la constante “a”

$$a = \sqrt{1 + 4 \times K_b \times R \times d} \dots\dots\dots (33)$$

Norma S090 - RNC

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \dots\dots\dots (34)$$

CEPIS

$$K_b = 0.841 \times 1.07^{(T-20)} \dots\dots\dots (35)$$

Donde:

K_b: Coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua T

K₂₀: Coeficiente de mortalidad neta a 20°C

R: periodo de retención de la laguna.

d: factor de dispersión

Coliformes en el efluente

$$N = \frac{N_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} \dots\dots\dots (36)$$

Donde:

a: constante

No: Concentración de coliformes fecales que ingresan

Remoción de la DBO

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \dots\dots\dots (37)$$

F_{ch}: Factor de corrección hidráulica (0.3 – 0.8) Esto se debe al efecto de la ubicación de los elementos de ingreso y salida, y a su diseño

F_{cs}: Factor de características de sedimentación cuyos valores son:

Lagunas primarias = 0,5 y 0,8

Laguans secundarias = aproximado a 1.00

F_{ia}: Factor intrínscica de las algas

$$L = \frac{L_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} \times L_0 \times F_{ia} \dots\dots\dots (38)$$

Donde:

L₀: DBO a la entrada

HUMEDALES ARTIFICIALES: Los Humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales, el cual consiste en el cultivo de plantas macrófitas, las cuales mediante procesos físicos, químicos y biológicos depuran las aguas residuales de manera gradual. Estos sistemas de fitodepuración, limpian el agua removiendo la DBO5, envolviendo procesos de sedimentación, filtración y oxidación bacteriana²⁹. Los Humedales artificiales son propicios para comunidades con bajos recursos socioeconómicos, puesto que estos demandan de poco personal y emplea recursos propios de la naturaleza³⁰. Existen dos tipos de humedales artificiales, los Enraizados y los Flotantes, los cuales se subdividen en grupos según el tipo de flujo, tal como se describe en la siguiente imagen.

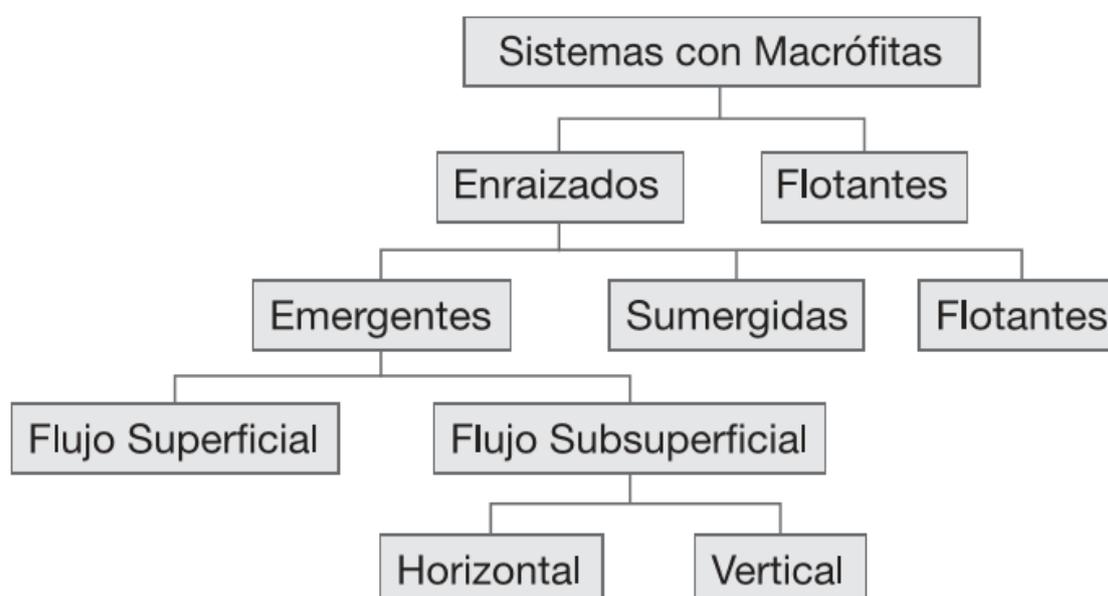


Figura x- Clasificación de Humedales³¹

Los humedales de flujo superficial se caracterizan por tener los tallos de las plantas macrófitas expuestos y simular las lagunas naturales. Lo cual, le permite funcionar como ecosistema debido a su capacidad para albergar peces, aves y demás especies. Estos humedales artificiales pueden tener una profundidad no mayor a los 60 cm³².

²⁹ (DELGADILLO Y OTROS, 2010,Pág. 7)

³⁰ (MARTÍN Y OTROS, 2016)

³¹ (DELGADILLO Y OTROS, 2010,Pág. 9)

³² (DELGADILLO Y OTROS, 2010,Pág. 9)

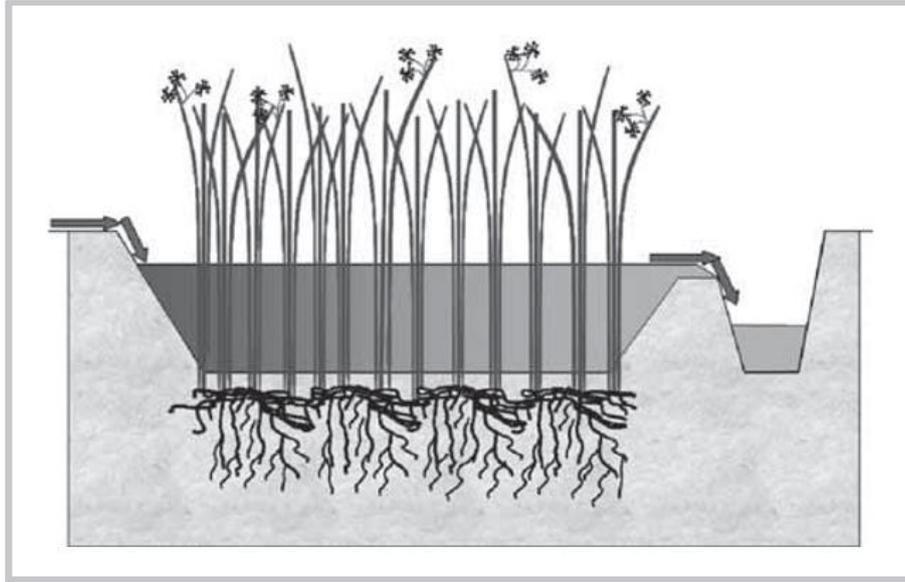


Figura x- Humedal Artificial de flujo superficial³³

Los humedales de flujo subsuperficial, se representan por tener el flujo de las aguas a través de material granular de profundidades entre 0.45 m y 1.00 m y con plantas macrófitas acuáticas. Así mismo, poseen un flujo permanente y pueden ser de flujo vertical u Horizontal³⁴.

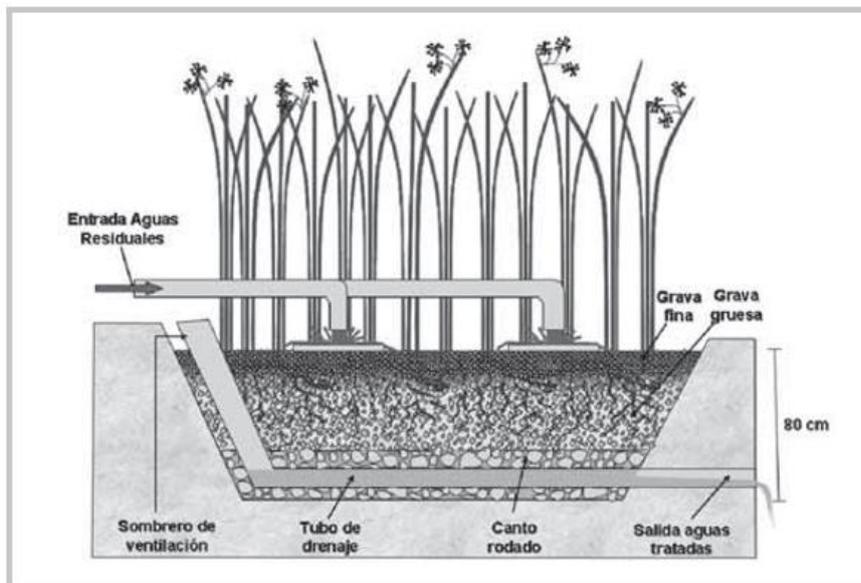


Figura x- Humedal Artificial subsuperficial de flujo vertical³⁵

33 (DELGADILLO Y OTROS, 2010, Pág. 9)

34 (DELGADILLO Y OTROS, 2010, Pág. 10)

35 (DELGADILLO Y OTROS, 2010, Pág. 10)

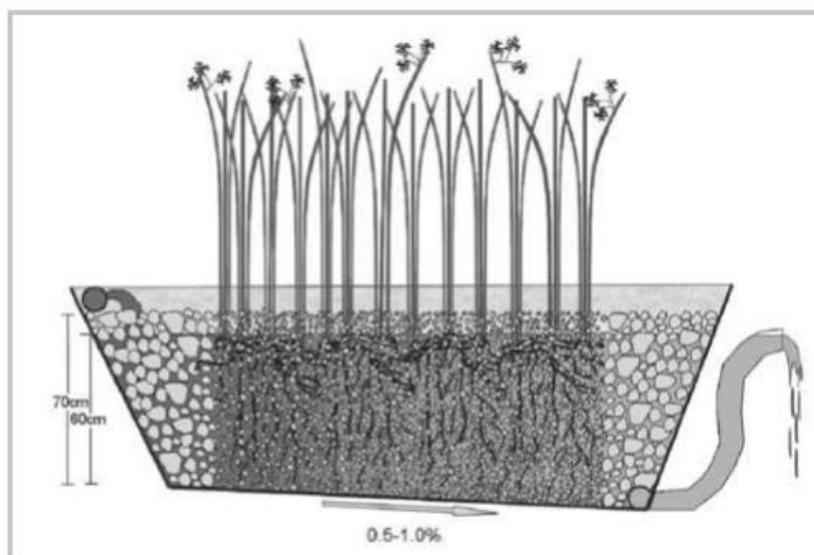


Figura x- Humedal Artificial subsuperficial de flujo vertical³⁶

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación científica consiste en emplear o aplicar conocimientos adquiridos previamente y al mismo tiempo adquirir nuevos, para luego de implementarlos o sintetizarlos en la práctica. Es decir, consiste en modificar, cambiar o transformar las situaciones reales en base a conocimientos científicos teóricos, los cuales permitirán adquirir nuevos conocimientos y experiencias.³⁷

Existen dos tipos de investigación. El primero, se denomina pura y consiste en plantear una teoría y el segundo tipo, es la aplicada, la cual compara las teorías reales con la realidad. ³⁸.

En base a ello, podemos afirmar que la investigación aplicada indaga eventos reales con el objetivo de mejorarlos o incrementar los conocimientos que ya se tienen establecidos. Al estudiar el tratamiento de aguas residuales en el Anexo de Ñahuimpuquio, se emplea conocimientos adquiridos de mecánica de fluidos, Ingeniería Sanitaria y otros. Los cuales, aplicados en conjunto, permiten

³⁶ (DELGADILLO Y OTROS, 2010, Pág. 10)

³⁷ (RUIZ, 2009, pág.5)

³⁸ (TAMAYO, 2002, pág. 42)

determinar la eficiencia de los métodos convencionales empleados actualmente y así poder determinar o teorizar otro método convencional más efectivo.

Por lo antes expuesto, se puede precisar que el tipo investigación de este proyecto es aplicada

El diseño de la investigación es no experimental de corte transversal correlativo. Debido a que los estudios realizados, se dan en un periodo de tiempo. Además, se estudió y analizó la relación de hechos reales para poder comprender el nivel de intervención en cada variable estudiada y determinar su grado de relación.³⁹ La evaluación de los métodos convencionales para tratamiento de aguas residuales en el anexo de Ñahuimpuquio involucró analizar los tipos de tratamientos empleados actualmente y poder determinar sus características, beneficios, deficiencias y plantear uno más efectivo.

3.2. Variables y operacionalización

Para el presente trabajo de investigación se empleó dos variables.

Variable independiente: Métodos convencionales

Variable dependiente: Tratamiento de aguas residuales

La variable independiente de esta investigación, son los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales, la cual tiene dos dimensiones. La primera son los métodos convencionales (rejillas o cribas) para los tratamientos preliminares que recibe el agua residual y la segunda es el método convencional (pozo séptico) para el tratamiento secundario que recibe. Así mismo, sus indicadores son los ensayos físico-químicos y bacteriológicos realizados a las aguas residuales en cada etapa de tratamiento. La variable dependiente es el tratamiento de aguas realizadas, las cuales nos permitirán conocer las características y cantidades de los compuestos físico-químicos y bacteriológicos de las aguas residuales. Se adjunta cuadro de operacionalización de las variables en los anexos.

³⁹ (CARRASCO, 2006, pág.73)

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: La población es un grupo que comparte características o cualidades similares. Estos pueden ser finitos o infinitos. Esta se delimita en base al problema y los objetivos de la investigación que se esté desarrollándose.⁴⁰

Para este trabajo, se tomará como población las aguas residuales domésticas en el anexo de Ñahuimpuquio.

Muestreo no probabilístico – Intencionada: Es un método para elegir en el que no se tiene conocimiento de la probabilidad que tienen los elementos de la población que conforman la muestra.⁴¹

La muestra intencionada es la que se selecciona a criterio del investigador sin tener en cuenta la estadística. La muestra no probabilística tiene que ser lo más representativa posible⁴²

Para el presente trabajo se realizará un muestreo no probabilístico, puesto que la muestra será el agua residual proveniente de una casa en el anexo de Ñahuimpuquio en Ahuac.

Muestra: Es un subgrupo representativo y de unidades finitas que se extrae de la población estudiada. Así mismo, debe contar con las mismas características y propiedades de la población. Es decir debe ser un fragmento de la población.⁴³ Se tomará como muestra 1 L de aguas residuales del anexo de Ñahuimpuquio.

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos y técnicas de investigación son vitales para una investigación, pues de si no se emplearan el producto será deficiente y carecerá de veracidad. La función de las técnicas e instrumentos de investigación son como un puente para la verificación del problema propuesto. Los instrumentos y técnicas varían de acorde al tipo de investigación que se está realizando.⁴⁴

⁴⁰ (ARÍAS, 2012, pág.81)

⁴¹ (ARÍAS, 2012, pág.83)

⁴² (CARRASCO, 2006, pág.264)

⁴³ (ARÍAS, 2012, pág.83)

⁴⁴ (BEHAR, 2019, pág.55)

La técnica a emplearse para el desarrollo de este trabajo de investigación consiste en la aplicación de conocimientos obtenidos, toma de muestras de aguas para los ensayos de laboratorio y análisis de normas nacionales vigentes. Así mismo, se empleará una ficha para la recopilación de datos.

Confiabilidad: La confiabilidad es una propiedad de un instrumento de medición, que permite obtener los mismos resultados al emplearse varias veces sobre una determinada población u grupo de individuos en diferentes circunstancias de tiempo.⁴⁵

Validez: La validez es un elemento de investigación el cual mide de manera objetiva, precisa, veraz y auténtico sobre la o las variables que se desee mejor o se está estudiando. Es decir, miden la objetividad, veracidad y validar las variables que se quieran medir.⁴⁶ Para determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, se recurrió a un laboratorio especializado para realizar los análisis de las aguas residuales del anexo de Ñahuimpuquio, teniendo en consideración las distancias, tiempos y certificaciones de calidad correspondientes.

3.5. Procedimientos

Los procedimientos para la elaboración del presenta trabajo de investigación, consistieron en viajar al lugar designado (Anexo de Ñahuimpuquio), tomar muestras de las aguas residuales antes de recibir los tratamientos preliminares y primarios. Así mismo, tomar muestras de las aguas residuales luego de recibir los tratamientos preliminares y primarios. Posterior a ello, se llevó las muestras al laboratorio designado para hacer las pruebas físico, químico y bacteriológicas de las aguas residuales. Una vez obtenidos los datos, se analizó y comparó los resultados iniciales con los finales, para poder calcular la eficiencia del tratamiento brindado a las aguas residuales en el Anexo de Ñahuimpuquio.

3.6. Método de análisis de datos

Se analizará las muestras tomadas de los efluentes de aguas residuales antes

⁴⁵ CARRASCO, 2006, pág.339)

⁴⁶ CARRASCO, 2006, pág. 336)

y después de recibir los tratamientos preliminares y primarios. Así mismo, se comparará las muestras iniciales con las finales, para el cual se tendrá que revisar las fichas en las que se tomará apuntes de los datos recopilados.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo ha sido elaborado bajo criterios éticos, a fin de cumplir de manera adecuada con los objetivos planteados. Así mismo, el autor de este presente, está comprometido a respetar la originalidad de los datos obtenidos, reglamentos y normas nacionales que se emplearan para la elaboración de esta investigación. Así mismo, se respetará los resultados del presente proyecto.

IV. RESULTADOS

Ubicación Política: Ñahuimpuquio, es un centro poblado ubicado en los alrededores de la laguna de Ñahuimpuquio al noroeste del Distrito de Ahuac, provincia de Chupaca, departamento de Junín.



Figura 10 – Mapa político del Perú y la Región Junín⁴⁷

⁴⁷ (GOOGLE,2020, imágenes)



Figura 12- Mapa político de la provincia de Chupaca⁴⁸

Ubicación Geográfica: El Anexo de Ñahuimpuquio, lugar elegido para el presente estudio, se encuentra ubicado a 3400 msnm y sus coordenadas son las siguientes:

LONGITUD: 75°20'10

LATITUD: 12°04'22

UTM: 8664428 465302 18L



Figura 12- Vista satelital de anexo de Ñahumpuquio.⁴⁹

Accesibilidad: El anexo de Ñahuimpuquio se encuentra en el departamento de Junín, para poder llegar, se tiene que comprar boletos de bus por internet o

⁴⁸ (GOOGLE,2020, Imágenes)

⁴⁹ (GOOGE, 2020, earth)

comprarlos en el terminal terrestre de Yerbateros, ubicado en el distrito de San Luis en Lima. Cuando el bus arribe a la ciudad de Huancayo, se debe tomar buses que vayan hacia Chupaca en la Av. Huancavelica. Los buses que van hacia Chupaca, pasan por el parque Chupaca, se debe caminar dos cuadras en dirección hacia el sur y se observará paraderos de autos y minivans que se van hacia el Ñahuimpuquio. El costo del pasaje desde Lima hacia Huancayo oscila entre los S/. 30.00 y S/.40.00 soles, los pasajes de Huancayo a Chupaca son de S/. 2.50 soles y de Chupaca a Ñahuimpuquio cuestan S/2.00 soles.

Características del lugar: Ñahuimpuquio, es un pueblo situado a los alrededores de una laguna en el distrito de Ahuac. Su geografía es variada, presenta ondulaciones en su relieve, quebradas y cerros con pendientes no tan pronunciadas. Así mismo, cuenta con grandes campos de cultivo distribuidos alrededor del pueblo. Por otro lado, existe un centro arqueológico llamado Arhuaturo, ubicado en los cerros frente a la laguna, lo cual convierte al lugar en un punto de turismo muy concurrido los fines de semana y fines de semana.



Figura 13- Ñahuimpuquio, 3 400 msnm



Figura 14- Afluente de agua residual en una vivienda de Ñahuimpuquio

Actividad Económica: La principal actividad económica radica en la agricultura y ganadería; dentro de los principales cultivos del lugar se destaca la papa, maíz y habas. Debido a la presencia de la Laguna y las ruinas de Arhuaturo, este pueblo apoya su economía con el turismo que generan, entre la variedad de actividades que se ofrece están los paseos en botes, paseos en motos, ATV y vehículos tubulares.



Figura 15- Laguna de Ñahuimpuquio



Figura 16- Ruinas de Arhuaturo

TRABAJOS DE LABORATORIO:

Para comparar los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, se tuvo en consideración las siguientes tesis:

TESIS 1:

Tratamiento de aguas residuales domésticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del municipio de San Buenaventura. El cual fue realizado por el Br. Christian Yapu Clares, para obtener el título de Químico Industrial en la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

TESIS 2:

Diseño de un Humedal Artificial con la Especie “Schoenoplectus Californicus” en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín – 2018. Elaborado por la Br. Yossy Faviola Pichiule Lazo, para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad Cesar Vallejo.

MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD, TEMPERATURA Y ACIDEZ

Tesis 1: En el cuadro siguiente, se puede observar que la temperatura del agua residual no ha cambiado para ninguna de las dos muestras desde el ingreso al PTAR hasta la salida. Así mismo, podemos observar que en la muestra 1, el pH hubo una variación significativa en la acidez, al aumentar el valor de salida, se puede concluir que luego de realizarse el tratamiento, el agua tratada se volvió más alcalina. Por otro lado, para las dos muestras, la conductividad ha incrementado, siendo la más notoria en la muestra 1.

Tabla 4- Parámetros de conductividad, temperatura y acidez

	ENTRADA			SALIDA			EFICIENCIA (%)
	PARÁMETRO	und	medida	PARÁMETRO	und	medida	
M 1	pH	und	7.01	pH	und	7.43	-5.99
	conductividad	mS	0.09	conductividad	mS	0.16	-77.78
	Temperatura	°C	30.1	Temperatura	°C	30.1	0.00
M2	pH	und	7.43	pH	und	7.43	0.00
	conductividad	mS	0.19	conductividad	mS	0.2	-5.26
	Temperatura	°C	32.7	Temperatura	°C	32.7	0.00

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: Los datos obtenidos en la tesis 2, muestran que el valor de pH disminuyó, es decir, el agua residual se volvió un poco más ácida. Así mismo, la conductividad también disminuyó, tal como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 5- Parámetros de conductividad y acidez

	ENTRADA			SALIDA			EFICIENCIA (%)
	PARÁMETRO	und	medida	PARÁMETRO	und	medida	
M 1	pH	und	7.99	pH	und	7	12.39
	conductividad	us/cm	710.00	conductividad	us/cm	440.00	38.03

fuelle: (Pichiule, 2018)

REMOCIÓN DE DBO5

Tesis 1: En lo concerniente a la remoción de la DBO5, para ambas muestras se tiene resultados positivos, puesto que se puede observar una disminución

considerable de DBO5. Así mismo, se tuvo una eficiencia de más del 25% para ambas muestras.

Tabla 6- Remoción DBO5

	FECHA	DETALLE	DBO5	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	258.00	mg/l	25.5814
		SALIDA	192.00	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	289.57	mg/l	28.9809
		SALIDA	205.65	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: La remoción de DBO5, mediante un humedal artificial muestran resultados bastante satisfactorios, puesto que se logró una eficiencia de 92.98%.

Tabla 7- Remoción DBO5

	FECHA	DETALLE	DBO5	und	EFICIENCIA (%)
M1	17/06/2018	ENTRADA	102.30	mg/l	92.9814
		SALIDA	7.18	mg/l	

fuelle: (Pichiule, 2018)

REMOCIÓN DE DQO

Tesis 1: La remoción de la DQO, en el tratamiento de aguas residuales con un biodigestor, son similares a los de la remoción de DBO5, pues para ambas muestras, se obtuvo porcentajes de eficiencia superiores al 25%, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 8- Remoción DQO

	FECHA	DETALLE	DQO	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	295.00	mg/l	25.4237
		SALIDA	220.00	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	315.4596	mg/l	28.1496
		SALIDA	226.6589	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

ACEITES Y GRASAS

Tesis 1: Los resultados de aceites y grasas obtenidos del tratamiento de las aguas residuales con un biodigestor, son satisfactorias. Tal como se detalla en el cuadro siguiente, se observa en ambas muestras una disminuci3n considerable del total de grasas y aceites, logrando para ambas muestras una eficiencia superior al 90%.

Tabla 9- Aceites y Grasas

	FECHA	DETALLE	AyG	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	5.30	mg/l	93.5849
		SALIDA	0.34	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	6.8626	mg/l	97.1396
		SALIDA	0.1963	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

S3LIDOS TOTALES

Tesis 1: La eficiencia obtenida para los s3lidos totales, es de 49.20% para la muestra 1 y 53.48% para la muestra 02.

Tabla 10- S3lidos Totales

	FECHA	DETALLE	ST	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	567.00	mg/l	49.2063
		SALIDA	288.00	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	580.4563	mg/l	53.4872
		SALIDA	269.9863	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: La remoci3n de s3lidos totales mediante un humedal, tiene una eficiencia de casi el 100%, tal como se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 11- Sólidos Totales

	FECHA	DETALLE	ST	und	EFICIENCIA (%)
M1	17/06/2018	ENTRADA	2400000.00	mg/l	99.9792
		SALIDA	500.00	mg/l	

fuelle: (Pichiule, 2018)

SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

Tesis 1: La eficiencia de remoción de los sólidos en suspensión, para ambas muestras supera el 55%.

Tabla 12- Sólidos Totales en Suspensión

	FECHA	DETALLE	STS	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	338.00	mg/l	66.2722
		SALIDA	114.00	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	185.4563	mg/l	57.0862
		SALIDA	79.5863	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: La remoción de sólidos suspendidos mediante un humedal, tiene una eficiencia de casi el 100%, tal como se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 13- Sólidos Totales en Suspensión

	FECHA	DETALLE	STS	und	EFICIENCIA (%)
M1	17/06/2018	ENTRADA	6000000.00	mg/l	99.9990
		SALIDA	60.00	mg/l	

fuelle: (Pichiule, 2018)

DEMANDA DE COLIFORMES TERMORESISTENTES

Tesis 1: La remoción de coliformes termoresistentes, para ambas muestras es del 99%.

Tabla 14- Demanda de coliformes termoresistentes

	FECHA	DETALLE	CT	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	1.00E+06	mg/l	99.0000
		SALIDA	1.00E+04	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	1.00E+08	mg/l	99.0000
		SALIDA	1.00E+06	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: La remoci3n de coliformes termoresistentes, mediante un humedal artificial es del 99%.

Tabla 14- Demanda de coliformes termoresistentes

	FECHA	DETALLE	CT	und	EFICIENCIA (%)
M1	17/06/2018	ENTRADA	5.00E+07	mg/l	99.9980
		SALIDA	1.00E+03	mg/l	

fuelle: (Pichiule, 2018)

REMOCI3N DE ESCHERICHIA COLI

Tesis 1: La eficiencia de la remoci3n de Escherichia coli, para ambas muestras supera el 85%.

Tabla 15- Remoci3n de Escherichia coli

	FECHA	DETALLE	EC	und	EFICIENCIA (%)
M1	23/11/2015	ENTRADA	7.00E+05	mg/l	85.7143
		SALIDA	1.00E+05	mg/l	
M2	30/03/2016	ENTRADA	8.20E+06	mg/l	87.8049
		SALIDA	1.00E+06	mg/l	

fuelle: (Yapu, 2018)

Tesis 2: La eficiencia de la remoci3n de Escherichia coli, mediante un humedal artificial supera el 99%, siendo casi efectivo.

Tabla 16- Remoci3n de Escherichia coli

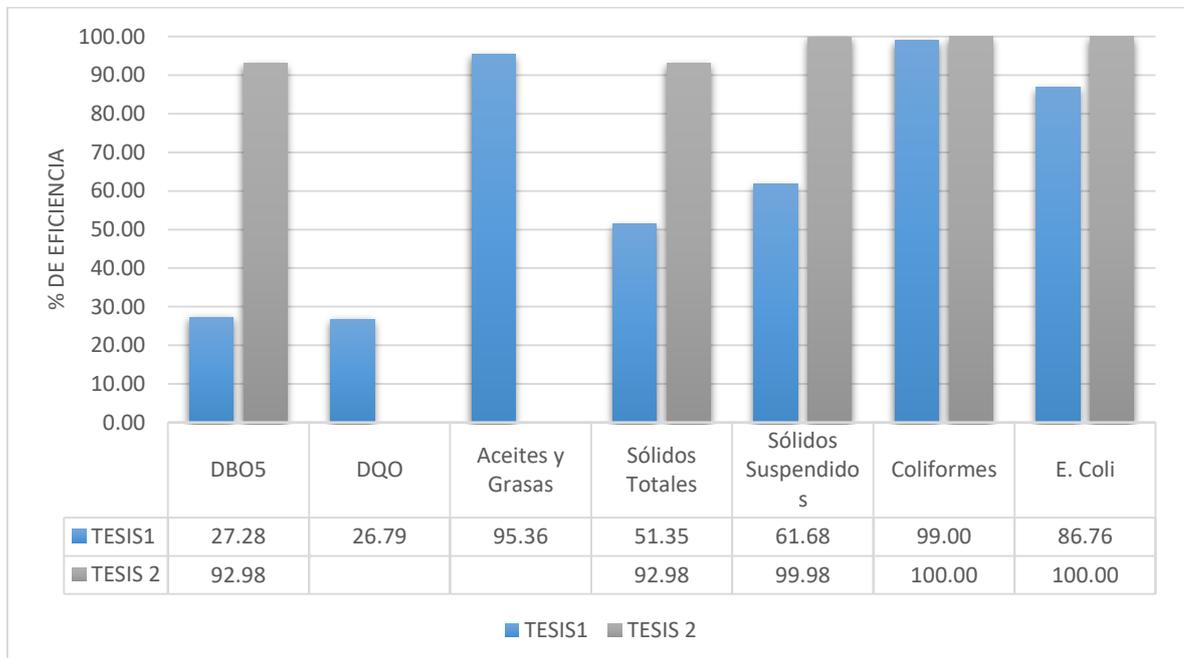
	FECHA	DETALLE	EC	und	EFICIENCIA (%)
M1	17/06/2018	ENTRADA	3.00E+07	mg/l	99.9967
		SALIDA	1.00E+03	mg/l	

fuelle: (Pichiule, 2018)

COMPRACIÓN DE RESULTADOS:

Realizando una comparación entre los datos analizados de cada proyecto de investigación, se tiene el siguiente cuadro:

Gráfico 1 – Comparación de eficiencia entre tratamientos con un biodigestor y humedal artificial



fuelle: Elaboración propia

Tal como se observa, se puede afirmar que, en cuanto a la remoción de la DBO5, el humedal artificial tiene una notable ventaja sobre el biodigestor. Siendo la diferencia de 65.70%. Esta diferencia, también puede notarse claramente en la remoción de sólidos totales y sólidos suspendedos. Puesto que, biodigestor obtuvo el 51.35% y 61.68% respectivamente, mientras que el humedal artificial logró más de un 90% para ambos casos. Por otro lado, la remoción de coliformes termo resistentes, fue satisfactoria para ambos casos, pues ambos métodos convencionales lograron pasar el 99% de eficiencia. De

igual forma, la remoción de Escherichia coli, es eficiente para ambos casos, siendo ligeramente superior el humedal artificial, que logró el 100% contra el 86.76% del biodigestor.

El anexo de Ñahuimpuquio, al contar con una laguna, se clasifica dentro de la categoría 4 del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, el cual establece los parámetros mínimos de efluentes para la conservación de ambientes acuáticos.

Tabla 17- CATEGORÍA 4, E1 lagos y lagunas

	UND	VALOR
DBO5	mg/L	5
Aceites y Grasas	mg/L	5
Sólidos Suspendidos	mg/L	≤ 25
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1 000
pH	Und pH	6.5 a 9.0
Conductividad	uS/cm	1000

fuelle: D.S. N°004-2017-MINAM

Analizando ambos resultados y comparándolos con el D.S. N°004-2017-MINAM, se obtiene lo siguiente:

Tabla 18- Comparación de parámetros

	D.S. N°004-2017-MINAM		TESIS 1	TESIS 2
	UND	VALOR		
DBO5	mg/L	5	192	7.18
Aceites y Grasas	mg/L	5	0.34	
Sólidos Suspendidos	mg/L	≤ 25	114	60
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	10000	1000
pH	Und pH	6.5 a 9.0	7.43	7
Conductividad	uS/cm	1000	190	440

fuelle: elaboración propia

En base a la información anterior, se deduce que en cuanto a la DBO5, el biodigestor, sobrepasa en gran medida los límites permitidos por el MINAM. Por otro lado, el humedal artificial tampoco cumple con lo establecido, pues solo

está 2.18 puntos por encima de la normativa. En lo que concierne a la conductividad, pH, los aceites y grasas, el tratamiento de aguas residuales con los métodos empleados en las tesis analizadas cumplen con la norma. Por otro lado, en la remoción de coliformes termo resistentes, solo el humedal artificial cumple con la norma. Finalmente, ninguno de los dos métodos para el tratamiento de aguas residuales cumple con las condiciones requeridas para los sólidos en suspensión.

V. DISCUSIÓN

En el proyecto de tesis del tratamiento de aguas residuales domésticas a través de un biodigestor anaerobio⁵⁰, se plantea emplear un biodigestor para recuperar las aguas residuales de una vivienda ubicada en la comunidad de Altamarani, la cual se dedica principalmente a la agricultura y ganadería. Para ello, se analizó los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales al ingreso y salida del biodigestor con el objetivo de determinar su reutilización para riego de cultivos y evitar la contaminación de los silos. Así mismo, se evaluó el costo de implementación del PTAR.

Los resultados obtenidos del análisis del afluente de la DBO5 del biodigestor, indican que se tiene una concentración de 198.82 mg/L, los cuales en contrastación con las normas peruanas (D.S N°004-2017-MINAM) están muy por encima de lo permitido para disponerse en lagunas (Categoría 4, E1). Motivo por el cual, sería necesario implementar algún tratamiento complementario a fin de cumplir con las condiciones establecidas en la normativa vigente. En cuanto a las concentraciones de aceites y grasas, los resultados del tratamiento de aguas residuales, arrojaron un promedio de 0.2682 mg/L, el cual cumple con la normativa peruana, la cual indica un máximo de 5 mg/L, evidenciando una gran eficiencia de este parámetro. Por otra parte, los sólidos suspendidos provenientes del biodigestor, señalaron un promedio de 96.79 mg/L, el cual tampoco cumple con la normativa peruana que indica como máximo 25 mg/L.

⁵⁰ (YAPU, 2018)

En contraste con los resultados de esta investigación, se puede observar que el tratamiento de aguas residuales con un tanque séptico, tiene resultados similares en cuanto al tratamiento de DBO5, Aceites y Grasas. Siendo necesario adicionar un tratamiento adicional para el tratamiento de las aguas residuales pueda cumplir con el D.S N°004-2017-MINAM y se mantenga el ambiente acuático de la laguna de Ñahuimpuquio.

Por otro lado, en el proyecto de tesis de Diseño de un Humedal artificial con la especie “*Schoenoplectus Californicus*” para el tratamiento de aguas residuales en el distrito de Ahuac⁵¹, cuya actividad económica principal refiere a la agricultura y ganadería, se tuvo como objetivos determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y determinar su aplicación para riego de cultivos y bebida de animales con los parámetros requeridos por los Estándares de Calidad Ambientales, categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y Food and Agriculture de la ONU. Los resultados obtenidos del tratamiento de aguas residuales mediante humedales, no cumplieron con las condiciones mínimas de los parámetros indicados. Sin embargo, en comparación con los parámetros indicados en la categoría 4 del D.S. N°004-2017-MINAM, se obtuvo resultados satisfactorios en cuanto al pH, obteniéndose un valor de 7; así mismo, se cumplió con los parámetros indicados para los coliformes termotolerantes, obteniéndose un resultado de 1000 NMP/100 ml. En cuanto a la DBO5, se obtuvo un valor de 7.18 mg/L, el que se aproxima bastante al rango máximo permitido en la normativa peruana para la conservación de ambientes acuáticos. Los resultados de los sólidos suspendidos, indicaron que se tuvo 60 mg/L, el cual está por encima de los 25 mg/L que indica la norma.

Analizando los resultados, se puede deducir que al igual que el biodigestor, el humedal artificial con la especie “*Schoenoplectus Californicus*” requiere de tratamientos adicionales para poder cumplir con los parámetros establecidos en el D.S N°004-2017-MINSA.

⁵¹ (PICHUULE, 2018)

Santiago Lema, en su tesis titulada “Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales no.14 de la parroquia san pablo del lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.” Se analiza las aguas residuales de una PTAR compuesto por 03 módulos, compuestos por separadores de caudal, sedimentadores, filtros anaeróbios de flujo ascendente y un sistema de humedal artificial compuesto por 54 estanques y 09 lechos de secado. Los resultados obtenidos al se detallan a continuación:

Tabla 19- Parámetros y eficiencia obtenidos de las aguas residuales

EFICIENCIA			
PARÁMETRO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	REMOCIÓN (%)
DBO5	360.00	16.00	95.56
DQO	567.00	66.00	88.36
Sólidos Totales	532.00	304.00	42.86
Sólidos Suspendidos	124.16	11.43	90.79
Coliformes	3.65E+07	1.60E+06	95.63
E. Coli	1.13E+07	1.00E+04	99.91

fuelle: elaboración propia

Como se puede observar, se tiene eficiencia de tratamiento superiores al 90% para la DBO5, DQO y Coliformes. Sin embargo, en cuanto a la depuración de sólidos totales solo se obtuvo un 42.86% de eficiencia.

Por otro lado, Mauricio Medina, en su tesis Titulada “Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estabilización del sector ‘rio seco’, distrito de la Joya, provincia de Arequipa”, evaluó las aguas residuales del PTAR compuesto por una caja de ingreso, laguna primaria, caja de interconexión, laguna secundaria y caja de salida. Los resultados obtenidos de la evaluación y eficiencia de tratamiento son los siguientes:

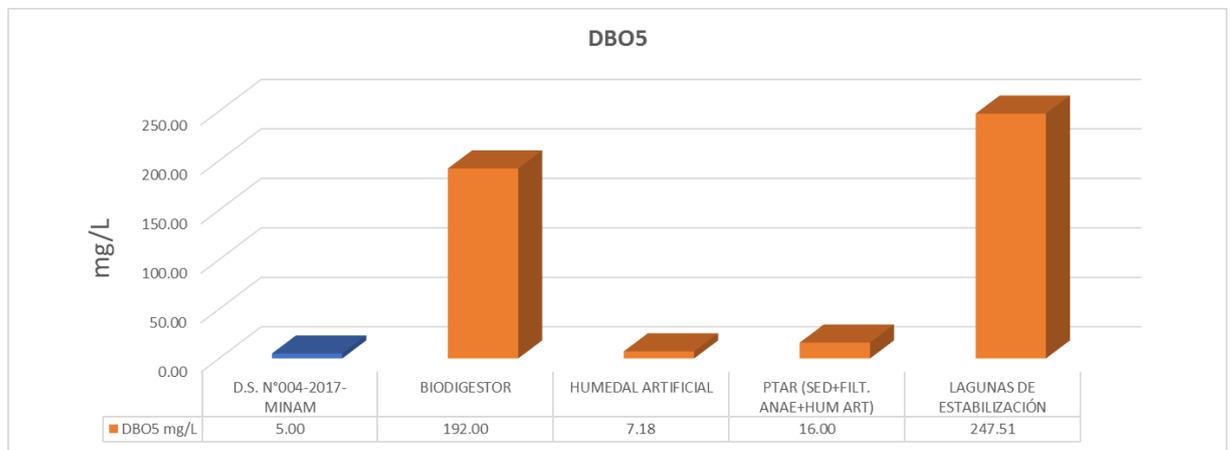
Tabla 20- Parámetros y eficiencia obtenidos de las aguas residuales

EFICIENCIA			
PARÁMETRO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	REMOCIÓN (%)
DBO5	730.00	247.51	66.09
DQO	2490.00	1170.00	53.01
Aceites y Grasas	205.00	33.00	83.90
Sólidos Totales	2124.00	1421.00	33.10
Sólidos Suspendidos	701.00	61.00	91.30

fuelle: elaboración propia

Observando los datos, se puede afirmar que el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización es bastante bueno para la remoción de sólidos suspendidos, pues se tiene una eficiencia del 91.30%. Así mismo, en cuanto a la remoción de aceites y grasas se obtuvo una eficiencia del 83.90%. En el cuadro comparativo de la DBO5, se puede observar que el Humedal artificial tiene un resultado más aproximado al de la normativa vigente (7.18 mg/L), secundado por el PTAR compuesto por separadores de caudal, sedimentadores, filtros anaeróbios de flujo ascendente, un sistema de humedal artificial compuesto y lecho de secado (16 mg/L).

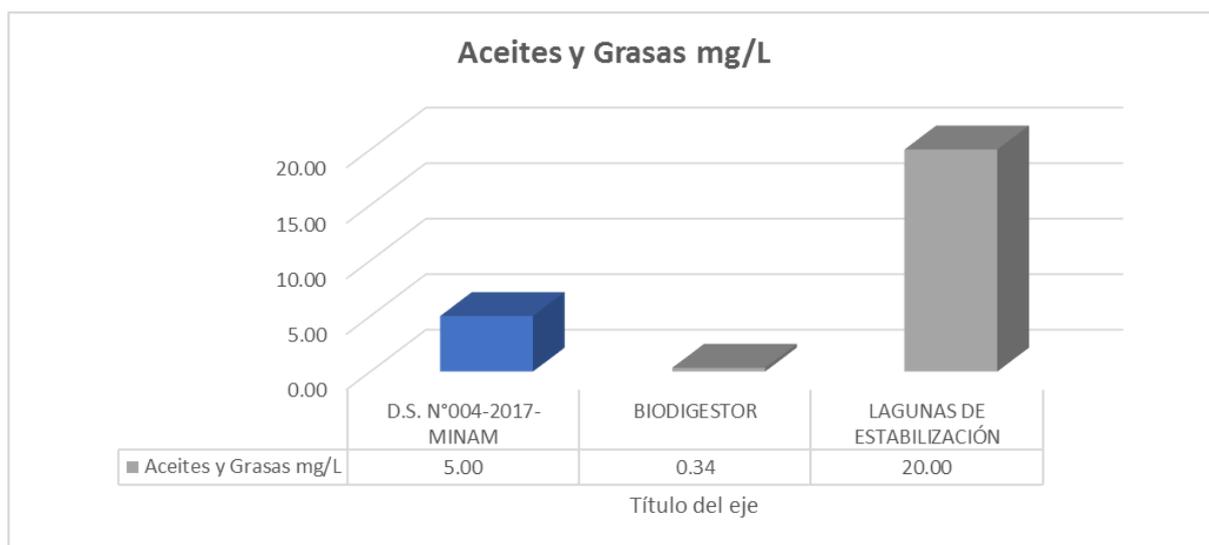
Gráfico 2 – Comparación de la DBO5



fuelle: elaboración propia

Con respecto a la depuración de grasas y aceites, se observa que solo el biodigestor logra cumplir con los parámetros establecidos en el D.S N°004-2020-MINAM (0.34 mg/L). Esto se debe a que el biodigestor posee dos cámaras, una para la sedimentación y otra para las natas. Lo que acelera el proceso de depuración.

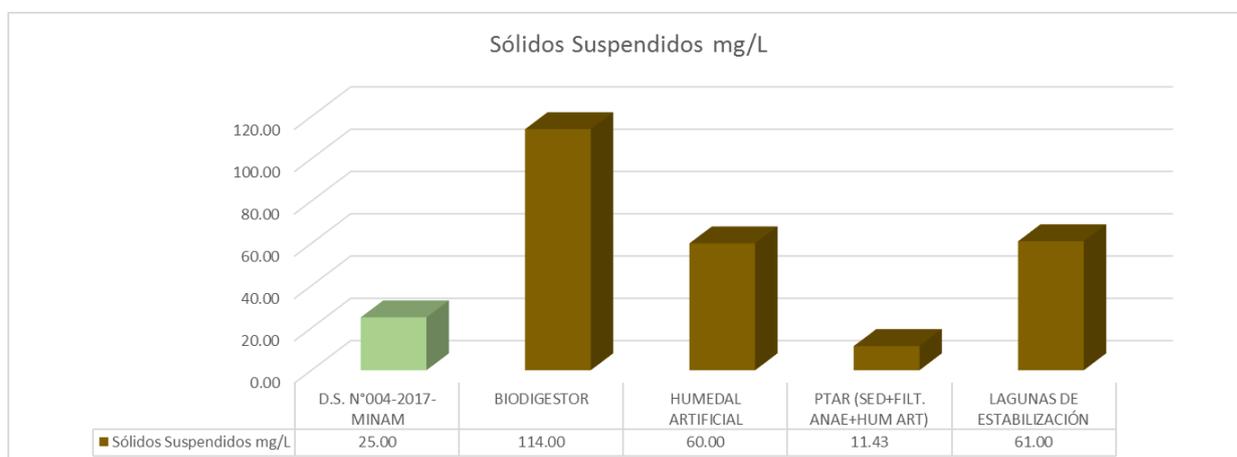
Gráfico 3 – Comparación de Aceites y grasas



fuelle: elaboración propia

Comparando los resultados de la depuración de sólidos suspendidos, solo el PATAR con sedimentadores supera los valores establecidos por la norma (11.43 mg/L), tal como se describe en el siguiente cuadro.

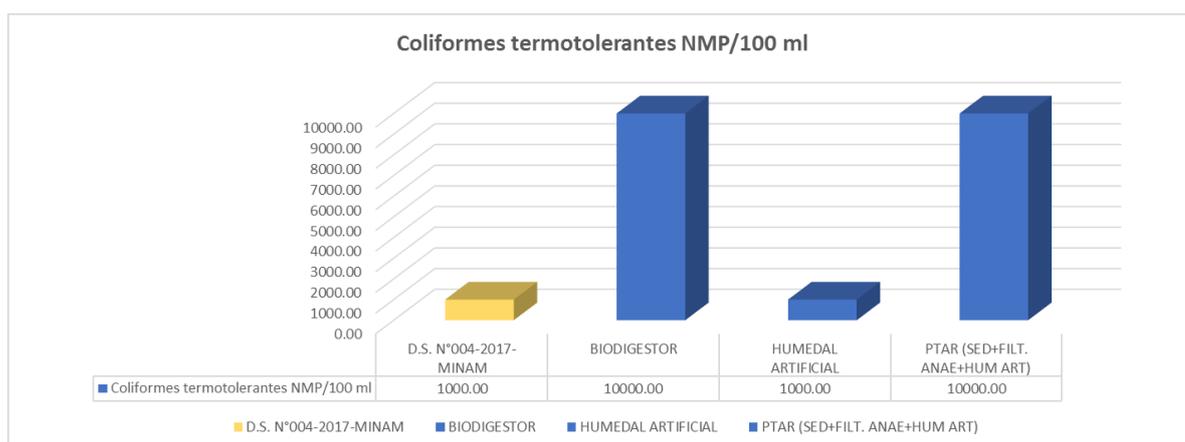
Gráfico 4 – Comparación de solidos suspendidos



fuelle: elaboración propia

Los resultados de los coliformes termotolerantes, indican que solo el humedal artificial cumple con el D.S N°004-2020-MINAM, equivalente a 1000 NMP/100 ml.

Gráfico 5 – Comparación coliformes termotolerantes.



fuelle: elaboración propia

En el cuadro siguiente, se resumelos resultados de los 04 proyectos analizados, los cuales corresponden a un distinto sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 21- Comparación de resultados

	D.S. N°004-2017-MINAM		BIODIGESTOR	HUMEDAL ARTIFICIAL	PTAR (SED+FILT. ANAE+HUM ART)	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
	UND	VALOR				
DBO5	mg/L	5.00	192.00	7.18	16.00	247.51
Aceites y Grasas	mg/L	5.00	0.34			20.00
Sólidos Suspendidos	mg/L	≤ 25	114.00	60.00	11.43	61.00
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	10000.00	1000.00	10000.00	
pH	Und pH	6.5 a 9.0	7.43	7.00	7.67	7.71
Conductividad	uS/cm	1000.00	190.00	440.00	473.00	

fuelle: elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los compuestos físico-químicos y microbiológicos del afluente de un biodigestor⁵², se concluye que los componentes bacteriológicos no cumplen el D.S. N°004-2017-MINAM. Puesto que, la cantidad de coliformes termotolerantes detectados en el efluente, excede de manera considerable a los parámetros establecidos en la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: Lagunas y lagos. Por otro lado, en cuanto los resultados de los componentes físico-químicos, tampoco cumplen con la

⁵² (YAPU, 2018)

normativa, la DBO5 de obtenida de los resultados superan de manera considerable lo indicado en los parámetros de la norma.

Analizando otro método convencional para el tratamiento de aguas residuales en el Anexo de Ñahuimpuquio, a fin de verificar la eficiencia del tratamiento de los compuestos físico, químicos y bacteriológicos. Se verificó los datos obtenidos del tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales⁵³, los cuales tampoco cumplen con el D.S. N°004-2017-MINAM. Sin embargo, en cuanto a los Coliformes termotolerantes, a diferencia del biodigestor, la aplicación de un humedal artificial demostró una mayor eficiencia que el bidigestor. La DBO5 obtenida del efluente del humedal fue de 7.18 mg/l, estando muy aproximado a los 5 mg/L que establece el decreto en mención.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que el tratamiento de aguas residuales mediante métodos convencionales como el tanque séptico, tanque biodigestor y humedales artificiales, funcionando de manera individual, no cumplen con los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos establecidos en el Decreto Supremo N°004-2017-2020-MINSA, el cual aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA).

En cuanto a la eficiencia, se determinó que para el humedal artificial es más eficiente que el biodigestor con respecto a la DBO5, siendo sus eficiencias 92.98% y 27.28% respectivamente. Así mismo, en cuanto al tratamiento de los sólidos totales, el humedal tuvo una eficiencia de 99.98% superando al biodigestor con una eficiencia de 51.35%.

Sin embargo, en cuanto a los periodos de retención, el biodigestor es mucho más rápido, puesto que el periodo de retención de los humedales puede durar varios días.

⁵³ (PICHUULE, 2018)

VII. RECOMENDACIONES

Se ha determinado que el tratamiento de aguas residuales mediante biodigestor, tanque séptico y humedales, operando de manera independiente, no logran cumplir con los parámetros establecidos en la normativa nacional vigente. Sin embargo, si se combinan con otros métodos se obtendría mejores resultados. En general, la mayoría de pueblos del Perú, no cuentan con el suficiente presupuesto para costear una planta de tratamiento. Motivo por el cual, estos métodos convencionales de bajo costo de operación y mantenimiento son una gran alternativa.

Es necesario concientizar a la población de las zonas rurales sobre el tratamiento de aguas residuales y el uso que se les puede aplicar según el tipo de tratamiento que se realice.

REFERENCIAS

INEI, *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico* [en línea]. Lima 2019 [fecha de consulta 20 de enero 2020]. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/formas-de-acceso-al-agua-y-saneamiento-basico-9343/1/>

INEI, *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico* [en línea]. Lima 2019 [fecha de consulta 20 de enero 2020]. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/formas-de-acceso-al-agua-y-saneamiento-basico-9343/1/>

ROJAS, R. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Básico* [en línea]. CEPIS/OPS-OMS 2002 [fecha de consulta 08 de julio 2019].pp. 4-5 Disponible en: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>

DELGADILLO, Oscar, CAMACHO, Alan, PEREZ, Luis Fernando y ANDRADE, Mauricio. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, 2010, pp. 53. ISBN: 978-99954-766-2-5

ROMERO, Jairo. *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño*. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000, pp.37-68 ISBN: 9789588060132

BORJA, Mario. *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda*. Tesis de titulación profesional. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012, pp.12 [fecha de consulta 20 de abril 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1626>

TAMAYO, M. *El proceso de la investigación científica*. 4ta Edición. México DF: LIMUSA, 2002. ISBN: 968-18-5872-7

HAMMEKEN, Alejandro, ROMERO, Eduardo. *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Tesis de titulación profesional. Universidad de las Américas Puebla, 2005, pp. 30-31. [fecha de consulta 18 de abril 2019]. Disponible en: http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/

RAFFO, Eduardo Y RUIZ, Edgar. 2014 Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica del oxígeno. *Industrial Data*. Lima: Industrial data, n. 017, pp75. ISSN: 1560-9146

N°003-2010-MINAM – BUSCAR RESOLUCIÓN

ROSALES, E. Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. *Tecnología en Marcha* [en línea]. 2005, mayo, **18**(2), pp. 26. [fecha de consulta 20 de mayo de 2019]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/205

CEPIS. *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. [en línea]. 2005, pp. 06. [fecha de consulta 20 de mayo de 2019].

Disponible

en:

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

Norma técnica IS 0.20 TÁNQUES SÉPTICOS

ARIAS, Fidas, *El proyecto de Investigación*, Caracas: Episteme, 2012. ISBN 980-07-8529-9

CARASCO, Sergio. Oscar. *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos, 2006. ISBN: 9972-34-242-5