

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA ENTRE
LOS BIODIGESTORES Y LOS HUMEDALES ARTIFICIALES
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

EDVIN CALIN RODRIGO BUSTAMANTE

OLVIN JUANITO VEGA BURGA

Asesor:

M.Sc. GLADYS SANDI LICAPA REDOLFO

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A:

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada día, por fortalecer mi corazón e iluminar la mente como formación profesional, a mis padres por ser el pilar de mi familia brindándome siempre el cariño constante y apoyo incondicional, a todos los amigos y familiares por haberse puesto en mi camino con su compañía y apoyo durante todo el periodo de estudio y a todos los Docentes que con su enseñanza sabia me guiaron por un buen camino del saber para llegar hasta donde estoy ahora en mi formación profesional.

Edvin Calin Rodrigo Bustamante.

A:

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada día, por fortalecer mi corazón e iluminar la mente como formación profesional, a mi madre por ser el pilar de mi familia brindándome siempre el cariño constante y apoyo incondicional, a todos los amigos y familiares por haberse puesto en mi camino con su compañía y apoyo durante todo el periodo de estudio y a todos los Docentes que con su enseñanza sabia me guiaron por un buen camino del saber para llegar hasta donde estoy ahora en mi formación profesional.

Olvin Juanito Vega Burga.

AGRADECIMIENTO

Los resultados de esta tesis agradezco en primer lugar a Dios por habernos guiado por el camino del bien y la felicidad, a todas aquellas personas que de alguna forma son parte de su culminación, nuestros sinceros agradecimientos a mis Padres César Dagoberto Rodrigo Idrogo y María Rosabel Bustamante Regalado, a mis hermanos, tíos; por haberme dado la fuerza y su apoyo constante para llegar hasta donde estoy ahora, a mi compañero de esta investigación que con armonía grupal lo hemos logrado y a mi asesora de tesis quién nos ayudó en todo momento.

Edvin Calín Rodrigo Bustamante

Los resultados de esta tesis agradezco en primer lugar a Dios por habernos guiado por el camino del bien y la felicidad, a todas aquellas personas que de alguna forma son parte de su culminación, nuestros sinceros agradecimientos a mi madre Rosalía Burga Vera, a mis hermanos, por haberme dado la fuerza y su apoyo constante para llegar hasta donde estoy ahora, a mi compañero de esta investigación que con armonía grupal lo hemos logrado y a mi asesora de tesis quién nos ayudó en todo momento.

Olvin Juanito Vega Burga

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	34
1.3. Objetivos.....	34
1.4. Hipótesis	35
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	36
2.1 Tipo de investigación	36
2.2 Población y muestra	36
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	37
2.4 Procedimiento	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS	43
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	58
4.1 Discusión	58
4.2 Conclusiones	59
REFERENCIAS	61
ANEXOS	69
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de los 25 estudios de biodigestores y humedales artificiales.	39
Tabla 2. Resultados del porcentaje de remoción de tratamiento de aguas residuales domésticas con biodigestores.	43
Tabla 3. Resultados del porcentaje de remoción de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales.	44
Tabla 4. Comparación de resultados del porcentaje de remoción de biodigestores y humedales artificiales.....	45
Tabla 5. Comparación de Resultados del sistema de tratamiento de aguas domésticas con biodigestores y los LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM	49
Tabla 6. Comparación de Resultados del sistema de tratamiento de aguas domésticas con humedales artificiales y los LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ficha técnica de biodigestor Rotoplas (600 L). Recopilado de manualinstalacioneselectricas.blogspot.com/2018/05/ficha-tecnica-de-biodigestor-rotoplas.html	23
Figura 2. Porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno con biodigestores y con humedales artificiales.....	46
Figura 3. Porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno con biodigestores y con humedales artificiales.	47
Figura 4. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales con biodigestores y con humedales artificiales.....	47
Figura 5. Porcentaje de remoción de coliformes fecales con biodigestores y con humedales artificiales.	48
Figura 6. Porcentaje de remoción de coliformes fecales con biodigestores y con humedales artificiales.	48
Figura 7. Comparación del parámetro de coliformes fecales en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	50
Figura 8. Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	50
Figura 9. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	51

Figura 10. Comparación del parámetro de pH en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	51
Figura 11. Comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	52
Figura 12. Comparación del parámetro de temperatura en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	52
Figura 13. Comparación del parámetro de coliformes fecales en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	54
Figura 14. Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM	54
Figura 15. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	55
Figura 16. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	55
Figura 17. Comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.....	56

Figura 18. Comparación del parámetro de temperatura en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM..... 56

ÍNDICE DE ECUACIONES

Fórmula 1 : Cálculo del porcentaje de remoción.	33
---	-----------

RESUMEN

La presente investigación surgió con la necesidad de comprobar la eficiencia de los biodigestores y los humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en función de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como la comparación de estos parámetros con los LMP establecidos por el MINAM, en el DECRETO SUPREMO N° 003-2010. En la metodología se ha realizado un tipo de investigación descriptiva donde la muestra consta de un conjunto de datos de investigaciones como tesis, artículos científicos que fueron extraídas de fuentes confiables como Scielo, Dialnet, Google académico. para ello se ha establecido un muestreo, seleccionando 10 estudios de biodigestores y 15 de humedales artificiales. En base a los resultados de los porcentajes de remoción promedio para cada tratamiento se encontró que en los biodigestores se removió de sólidos suspendidos totales 70.02%, demanda química de oxígeno (DQO) 42.68%, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 44.82%, coliformes fecales 47.63%, por su parte en los humedales artificiales se obtuvieron, coliformes fecales 89.17%, sólidos suspendidos totales 82.77%, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 78.03%, demanda química de oxígeno (DQO) 72.91%, después se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles, donde se observa que los coliformes fecales, DBO₅ y DQO no cumplen con los LMP porque exceden la cantidad exigida, por su parte los parámetros evaluados de los humedales artificiales se encuentran por debajo de las cantidades exigidas por la norma.

Palabras clave: Aguas residuales, Biodigestor, Remoción, Humedales artificiales.

ABSTRACT

The present investigation arose with the need to verify the efficiency of biodigesters and artificial wetlands in the treatment of domestic wastewater based on the removal of physicochemical and microbiological parameters, as well as the comparison of these parameters with the LMP established by MINAM, in SUPREME DECREE N ° 003-2010. In the methodology a type of descriptive research has been carried out where the sample consists of a set of research data as theses, scientific articles that were extracted from reliable sources such as Scielo, Dialnet, Google academic. For this, a sampling has been established, selecting 10 studies of biodigesters and 15 of artificial wetlands. Based on the results of the average removal percentages for each treatment, it was found that in the biodigesters total suspended solids were removed 70.02%, chemical oxygen demand (COD) 42.68%, biochemical oxygen demand (BOD₅) 44.82%, coliform fecal 47.63%, meanwhile in artificial wetlands, fecal coliforms 89.17%, total suspended solids 82.77%, biochemical oxygen demand (BOD₅) 78.03%, chemical oxygen demand (COD) 72.91% were obtained, then the comparison was made of parameters evaluated with the maximum permissible limits, where it is observed that the fecal coliforms, BOD₅ and COD do not comply with the LMP because they exceed the required amount, for its part, the parameters evaluated of the artificial wetlands are below the amounts required by the rule.

Key words: Wastewater, Biodigester, Removal, Artificial wetlands.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las aguas residuales domésticas al nivel mundial siguen siendo un problema muy grave debido a la alta contaminación que provocan al suelo al ser vertidas sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando múltiples enfermedades infecciosas en las personas ya que dependen del uso del suelo para sus actividades agrícolas.

El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, estos pueden alternarse de diferentes maneras, considerando diferentes factores externos que influyen en el tratamiento de aguas residuales como pueden ser: temperatura, operación y mantenimiento así como los usos del agua, por tal razón el control y la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos en los biodigestores son de suma importancia para poder determinar la eficiencia en la operación y poder realizar rectificaciones al proceso. (León E, 2018)

La depuración de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes es uno de los sistemas más utilizados, y consiste en canales de profundidad que fluctúan entre los 0.45 a 1.5 m. algunas de las especies que se utilizan son: jacinto acuático, lenteja de agua y azolla. (Celis y Sandoval, 2005), las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados; además, se estima que solo el 20% de aguas residuales producidas en el área urbana son tratadas, pero solo se da efectivamente en un 10% (Morales G, 2008).

En el Perú se producen alrededor de 1,000 millones de m^3 de aguas residuales domésticas al año, de este volumen sólo el 22% es tratado, en Lima sólo es tratada el 9.5% y el resto es distribuido de diferentes maneras como el vertimiento en los cuerpos de agua como ríos, lagos; el uso para riego de cultivos agrícolas. (Cruz et al., 2016).

El presente trabajo de investigación surgió con la finalidad de conocer la eficiencia de los biodigestores y los humedales artificiales mediante la comparación del porcentaje de remoción en el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que hoy en día este tipo de tratamientos son empleados con más frecuencia en las zonas rurales debido a su fácil instalación y bajo costo de uso y mantenimiento, es por ello que necesitamos demostrar cuan eficientes son mediante la recopilación y selección de información que nos facilite contrastar su eficiencia, por ende a continuación situamos 25 antecedentes, de tratamiento de aguas residuales domésticas con biodigestores tenemos 10 estudios como son internacionales y nacionales, con tratamiento de humedales artificiales 15 estudios entre ellos internacionales y nacionales.

Se realizó la investigación para determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias; Con los resultados obtenidos determinó que el biodigestor comercial tiene similar eficiencia tanto en su fase inicial, como a cinco años de funcionamiento sin extracción de lodos, esta eficiencia enmarca a la unidad como un tratamiento primario con eficiencia de 97 % de remoción de sólidos sedimentables y DBO₅ del 57 %, También observó una eficiencia de 94% de remoción de sólidos sedimentables y DQO del 47%, a un periodo de retención de 11,28 horas. Respecto a la remoción de demanda química de oxígeno, esta se estableció en 57 % (DQO de efluente: 175.86 mg/l) con una desviación estándar de 11 %, la normativa guatemalteca contempla el valor máximo en 250 mg/l para la primera etapa, cuya fecha máxima de cumplimiento se establece el 2 de mayo del 2015, incumpliendo para la etapa dos que establece un valor máximo de 100 mg/l. (Calderón P, 2014).

En esta investigación adoptaron un sistema de tratamiento de aguas residuales con un biodigestor plástico de flujo continuo y doce estanques, destinados a la producción de plantas acuáticas en una finca de producción porcina. Después de realizar el análisis de

laboratorio por parte de la Universidad de Nariño obtuvieron resultados de los parámetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) mostrando una remoción del afluente y efluente del biodigestor para DBO₅ con un 41% y DQO con el 79%. en la remoción del biodigestor no cumplió con la normativa para vertidos a cuerpos de agua según la norma (decreto 3930 de 2010) que establece que la remoción del sistema de tratamiento debe ser mínimo del 80% en carga DBO₅. En el análisis de agua con plantas acuáticas se obtuvo un valor de remoción del DBO₅ con un 95% y DQO con el 76% (Cortes y Meza, 2015)

En este estudio explican que en la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, sectores Laguna Grande y río Cuyabeno, se han construido hoteles ecológicos, para atender la demanda turística, los mismos que generan aguas residuales. El Ministerio de Ambiente, responsable de la conservación de la biodiversidad, ha dispuesto la implementación de biodigestores, para el tratamiento de estas aguas, los resultados fueron comparados con la legislación ambiental vigente: Norma INEN 2 169:2013, los resultados determinaron que los biodigestores únicamente cumplen la norma en tres parámetros: *nitratos* y *nitritos*; *sulfatos* y *temperatura*; e incumplen la norma en: DBO₅, DQO y pH; mientras que, en los cuatro parámetros restantes, existe una variación de los resultados. En conclusión, todos los biodigestores, incumplen con la normativa, al menos en uno de los parámetros. (Gutiérrez, Rivera y Roldan, 2016).

Explican que el biodigestor anaerobio utilizado en este estudio, se diseñó para tratar agua residual doméstica en un sanitario de prueba, y se caracteriza por ser de: flujo continuo, baja carga orgánica y tener cuatro etapas de proceso, los resultados obtenidos para estas determinaciones a la entrada y salida del biodigestor respectivamente son los siguientes: pH (8.03; 8.43), conductividad eléctrica (1510.83 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1207.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura del proceso (19.2°C; 20.1°C), sólidos sedimentables (144.5mL/L; 0.02mL/L),

oxígeno disuelto (4.5992 mg/L; 0.1924 mg/L) estos datos proporcionaron un punto de partida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstica. (Sánchez et al., 2016).

A continuación, colocamos estudios nacionales con tratamiento con biodigestores.

En la investigación titulado “Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse Apurímac”. Donde para determinar la eficiencia tomaron muestras en tres puntos del sistema, de los resultados obtenidos compararon con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, según el Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM. Como resultado no cumplieron con los límites máximos permisibles 3 parámetros. Estos fueron coliformes termo tolerantes, DBO₅ y DQO. Por lo tanto, las aguas tratadas por el biodigestor prefabricado no podrán ser vertidas en cuerpos de agua como ríos, lagos o el mar por su grado de contaminación. (Mejía y Pérez; 2016).

Por otro lado en la investigación que realizaron en la localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua, con el objetivo de determinar la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas con biodigestor, a través del monitoreo y evaluación, en función de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, determinando la eficiencia de tratamiento de los biodigestores, después de los análisis obtuvo los siguientes resultados: DBO₅ 59.51%, DQO 49.16%, aceites y grasas 35.92%, sólidos totales en suspensión 52.78% y Coliformes fecales (Termotolerantes) 89.19%. (León E, 2018).

Igualmente evaluaron el sistema de tratamiento de aguas domesticas en biodigestores, en su fase primaria, y la influencia de los parámetros físico, químicos y biológicos, y relacionar los parámetros del sistema con la DBO₅, DQO, en donde determinó la eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados DBO₅ (71%), DQO (69%), Sólidos totales en suspensión (76%). Se determinó también la eficiencia de

remoción de Coliformes totales (64%), Coliformes fecales (87%), y Coliformes termo tolerantes (39%). Al comparar los valores determinados en el efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 003 – 2009 – MINAM, se concluye que el nivel de contaminación de la zona en estudio es alto ya que los contaminantes potenciales superan los límites máximos permisibles para la categoría 3: es decir afecta al agua de riego de vegetales y bebidas de animales, y la contaminación el agua subterránea. (Nina R; 2015).

De la misma forma se determinó la eficiencia del biodigestor a través del monitoreo y evaluación del tratamiento de aguas residuales, en función de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, en base a los resultados obtenidos del laboratorio conforme al rendimiento del biodigestor en el tratamiento de excretas cuyos parámetros evaluados fueron: DBO₅ 21.80%, DQO 23.03%, Aceites y Grasas 51.96%, Sólidos totales en suspensión 51.39%, también determinó la eficiencia de remoción de coliformes Totales 47.00% y coliformes fecales 32.15%. Se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM, en el decreto supremo N° 003-2010. (Espillico C, 2014).

Además, este trabajo de investigación se evaluó la eficiencia de la remoción de aguas residuales domésticas que ocurre en el sistema del biodigestor Autolimpiable; para lo cual analizó los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del efluente y realizó la comparación con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM, los resultados obtenidos del efluente en el laboratorio conforme a la eficiencia de remoción del sistema fueron: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 28.24%, demanda química de oxígeno (DQO) 26.44%, aceite y grasas 62.03%, solidos totales en suspensión (SST) 57.16%. También determinó la eficiencia de remoción de coliformes totales 47.41% y coliformes fecales 33.60%. Además, realizó el análisis comparativo de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles (LMP), de los cuales no cumplen con los

LMP para ser descargados a cuerpos receptores sin generar contaminación la (DBO_5) y la (DQO). (Mancha R, 2015).

Su investigación surgió como una alternativa para la reutilización de las aguas residuales domésticas, en específico de las aguas amarillas (orines) y grises (aguas de lavado) como fuente de alimentación de biodigestores. Para la composición de biogás se obtuvo un promedio de CH_4 de 50,6% para el Tratamiento 1, alimentado con aguas residuales y un promedio de 48.6%, para el Tratamiento 2, obtuvo el Tratamiento 1 (85.19 Litros/Kg.ST), en comparación con el Tratamiento 2 (69.8 Litros/Kg ST), los coliformes totales se redujeron para los dos tratamientos de 4 a 3 unidades logarítmicas, alcanzándose una reducción del 90% de patógenos. Para los coliformes fecales se tuvo una reducción de 2 a 1 unidad logarítmica lográndose también una reducción del 90% de patógenos. (Pinto y Quipuzco, 2015).

A mencionamos los estudios de tratamiento con humedales artificiales en el ámbito internacional.

Se realizaron el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presentando resultados de remoción de materia orgánica (DBO_5) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. (Rodríguez et al., 2010).

En el artículo presentaron el comportamiento de tres especies de plantas acuáticas flotantes (*Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*), en los análisis de las aguas tratadas se determinó que de los cuatro tratamientos el de mayor capacidad en remoción de contaminantes (DBO_5 , DQO, Nitritos y Nitratos; Sólidos, Fósforo total y fosfatos), fue *Eichhornia crassipes* con niveles de hasta el 98%; para los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y Coliformes totales el mejor tratamiento fue *Lemna gibba* que removió entre el 96% y 98,5%, por su parte la *Azolla filiculoides* resultó ser

eficiente como tratamiento terciario y finalmente se ubicó la asociación. (Espinoza y Peralta, 2008).

En su artículo implementaron un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio o piloto con la finalidad de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*, integrado por cuatro sistemas de tratamiento de flujo discontinuo o también llamado por tandas, las evaluaciones se realizaron cada 15 días, los parámetros que analizaron fueron temperatura, pH, turbidez, sólidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y fecales. Donde se concluyó que la calidad del efluente tratado cumple en su mayoría con los límites máximos permisibles establecidos en la legislación peruana, obteniéndose un mayor porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes por la especie *Eichhornia crassipes*. (Ayala et al., 2018).

Además, en esta investigación analizaron los procesos y aplicaciones de los sistemas de depuración de aguas residuales con plantas acuáticas, y su importancia en las distintas actividades industriales, mineras y domésticas donde describieron los sistemas más utilizados para estos fines, enfatizando el rol que cumplen las plantas en la descontaminación, siendo una buena alternativa para tratar los efluentes de actividades industriales, mineras, agropecuarias enfocando la atención hacia el rol que cumplen las macrófitas. (Celis et al., 2005).

Por otro lado, en su artículo investigaron que los tratamientos de aguas residuales donde involucran macrófitas flotantes que demostraron ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Rescatando su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento. (Martelo y Lara, 2012).

Por su parte en su Artículo “Plantas acuáticas en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas” concluyeron que Las especies presentaron diferencias en la remoción de contaminantes debido a la necesidad en requerimientos nutricionales de cada una. *E. crassipes* removió parámetros físicos, al igual que parámetros químicos como DBO₅ y DQO y La asociación y *E. crassipes* removieron en su mayoría los compuestos nitrogenados. Por su parte *A. filiculoides* logró mejores niveles de remoción en compuestos fosfatados. *L. gibba* con los parámetros microbiológicos alcanzaron mejores remociones. (León y Lucero, 2008).

Plantearon con planta lenteja de agua un diseño de un sistema descentralizado e integrado para aguas residuales domesticas de viviendas urbanas o rurales de 5 habitantes, separando las aguas negras de las grises en el tratamiento. Donde el sistema estuvo compuesto por una trampa de grasas para las aguas grises, como tratamiento preliminar; el efluente de las aguas grises se unió con el afluente de las aguas negras en un sedimentador y llegaron a un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con lenteja de agua (*Lemna minor*). (Carrera y Florián, 2013).

Evaluaron a escala piloto el efecto de dos macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el mejoramiento de la calidad de un agua residual agroindustrial. Donde Las dos macrófitas evaluadas fueron eficientes en la estabilización y neutralización del pH, disminución de las concentraciones de coliformes totales, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales, además, las eficiencias promedio de remoción: coliformes totales, 68 y 22% con *L laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente; DBO₅, 76 Y 53%; DQO, 26 Y 18%; sólidos suspendidos totales, 70 y 56% con *L laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente. (Valderrama L, 1996).

De igual manera evaluaron la calidad del agua obtenida de humedales artificiales y el efecto del agua tratada sobre las primeras etapas de crecimiento de sorgo (*Sorghum*

bicolor) y maíz (*Zea mays*). El sistema consistió en tres estanques en serie sembrados con junco (*Scirpus americanus*), tule (*Typha latifolia*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), por su parte el pH disminuyó de 8.33 a 7.29, así como la DQO (416 a 120 mgO₂/l), el ion calcio (6.6 a 0.54 mg/l), el ion cloruro (0.011 a 0.002 mg/l), el nitrito (0.234 a 0.040 mg/l), el amonio (1.451 a 0.0003 mg/l) y el fósforo (10.3 a 2.3 mg/l); Pb y Cd se mantuvieron por debajo del límite permisible. Por lo que sistema fue eficiente principalmente en relación con la calidad sanitaria y la reducción de amonio, calcio, fósforo y DQO, pero no en cuanto a la concentración de sales. (Ramos et al., 2007).

Por tanto, evaluaron la reducción de contaminantes de efluentes residuales; con un sistema biológico potencialmente aplicable como alternativa para la reducción de la carga contaminante de efluentes residuales domésticos del municipio de San Juan del Cesar, donde evaluaron, a escala de laboratorio, el efecto del tratamiento con *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes*, sobre la remoción de materia orgánica, de nutrientes y de patógenos, durante un mes, se aplicaron tres tratamientos: T1 fue más eficiente en la remoción de DQO 69,2%, T2 eliminó el 100% de SST, mientras que T3 reportó las mejores eficiencias de remoción, para las demás variables analizadas. (Vizcaíno y Fuentes, 2016).

Investigaron el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. Donde diseñaron un sistema con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, en el segundo, organismos de la especie *Typha domingensis* (Pers.) Steudel y en el tercero las dos especies, luego analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), terminado el estudio los resultados demostraron que el sistema es una opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrientes, de bajo costo de operación y mantenimiento. (Romero et al., 2009).

por ende tenemos estudios nacionales que estarán mencionados a continuación.

En su estudio de investigación determinó la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, analizó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos y posterior a los diez días de estancado y obtuvo como resultado que la planta *Eichhornia crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas con un porcentaje promedio de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 88,24%, mientras que *Lemna minor* obtuvo un promedio de remoción del 81,24%. (Coronel E, 2015).

En esta investigación evaluaron diversos parámetros de las aguas servidas para ver el comportamiento y la potencialidad Fito depuradora de dos tipos de plantas, mediante dos humedales artificiales verticales sembrados con *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides*, los humedales artificiales verticales alcanzaron buenos niveles de remoción con valores de 98.6 y 96.4% de DBO₅, 93 y 90% de DQO, 89.2 y 87.2% en SST y 4 y 5 unidades logarítmicas/100 ml de coliformes termotolerantes o fecales para los humedales con Paragüitas y Vetiver en ese orden. (Gómez Y, 2017).

De igual manera, trabajó con las macrófitas *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Lemna minor* (lenteja de agua) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue en la ciudad de Moyobamba donde buscó mejorar la calidad de la quebrada de agua. Por lo que usó el sistema por tandas, el cual consistió en instalar dos tanques de vidrio de 72 L de agua residual doméstica cada una para su posterior tratamiento con las macrófitas, los parámetros evaluados del agua residual doméstica fueron sólidos suspendidos totales, pH, DBO₅, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes, en donde que la *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la remoción de parámetros, ya que

se encuentra muy por debajo de los valores arrojados por la *Lemna minor*. (Vargas K, 2018).

Diseñaron y construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial a nivel piloto, para depurar los efluentes líquidos residuales con la finalidad de tratar las aguas residuales del distrito de Chao - Viril, Región la Libertad, utilizando como vegetación autóctona emergente la *Typha Latifolia*, al final del proceso del tratamiento llegando a reportar una alta reducción de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Coliformes Totales, Demanda Química de Oxígeno, Sales en General y la medición de pH; lográndose una remoción del 87 % para el DBO₅; 99 %, al finalizar el estudio obtuvieron parámetros por debajo de los límites permisibles establecidos. en la Ley General de Aguas del Perú. (Reyes y Reyes, 2008).

Para realizar dicho estudio tuvimos que conocer el concepto de algunas definiciones como son:

Biodigestor: es un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (sin aire) en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, para dar como resultado metano y dióxido de carbono, trazas de hidrógeno y sulfhídrico, estos microorganismos, protozoarios hongos y bacterias que están en el interior deben ser cultivadas, por tanto no vamos a obtener el biogás inmediatamente, tendremos que esperar que lo empiecen a producir, esto tarda unos 15 días más o menos, esta producción se verá afectada por la temperatura exterior, por tanto si queremos que nuestro biodigestor produzca algo más o menos constante debemos enterrarlo para que la temperatura se mantenga en unos 18 grados, no es lo mejor pero durante el invierno tendremos buena producción. Este proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce

una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cual se le llama biogás. (Cuchillo O, 2019).

Eficiencia de biodigestores: en un biodigestor, la materia orgánica viene acompañada proporcionalmente, de una mayor cantidad de agua. Esta cantidad de agua pasa primero por el proceso, quedándose retrasada cierta cantidad de materia orgánica. Esta se va acumulando en el biodigestor a medida que va entrando más materia orgánica.

Cuando la velocidad de entrada de la materia orgánica es superior a la velocidad biológica de degradación de las bacterias facultativas, se va produciendo dentro del digestor un balance negativo de eficiencia y puede llegar al punto donde el uso del biodigestor se convierte en totalmente redundante por su ineficiencia. (Eficiencia de los biodigestores, engormix, 2016).



Figura 1. Ficha técnica de biodigestor Rotoplas (600 L). Recopilado de manualinstalacioneselectricas.blogspot.com/2018/05/ficha-tecnica-de-biodigestor-rotoplas.html

Descripción del sistema Biodigestor Autolimpiable Rotoplas: es un Sistema para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, mediante un proceso de retención y degradación séptica anaerobia de la materia orgánica. El agua tratada es infiltrada hacia el

terreno aledaño mediante una zanja de infiltración, pozo de adsorción y/o humedal artificial según el tipo de terreno, prueba de permeabilidad. (Ficha técnica de biodigestor Autolimpiable, 2018).

Características biodigestor Rotoplas (600 L).

- ✓ Color: negro
- ✓ Peso: 22.5
- ✓ Material: polietileno
- ✓ Uso: tratamiento de aguas servidas cuando no tienen desagüe
- ✓ Autolimpiable. no requiere de bombas ni medios mecánicos para la extracción de lodos.
- ✓ Sistema netamente hidráulico
- ✓ Prefabricado. Integridad estructural.
- ✓ Son flexibles, en asentamientos diferenciales, no se producen grietas o fisuras como sucede con las convencionales de concreto.
- ✓ Fácil instalación. Ligero. Resistente.
- ✓ No genera olores.
- ✓ Larga vida útil: 35 años.
- ✓ Mayor eficiencia en la remoción de constituyentes de las aguas residuales en comparación con sistema tradicional.

Funcionamiento del biodigestor Rotoplas: Las aguas negras, se introducen al biodigestor Autolimpiable por la conexión al desagüe y se dirigen al fondo del tanque, área de lodos. En esta área de lodos se va a formar una colonia de bacterias anaeróbicas, que se alimentan de las excretas, produciendo así el proceso séptico.

El fondo cónico permite reducir las áreas muertas y hace más eficiente este proceso y permite la auto limpieza del tanque biodigestor Autolimpiable.

Se realiza un nuevo proceso microbiológico con una segunda colonia de bacterias anaeróbicas formada en los aros plásticos que se encuentran en el biofiltro interno del tanque (cubeta con aros plásticos o PET).

Para limpiar el biodigestor Autolimpiable, se abre la válvula de lodos a partir de los 06, 12, 18 o 24 meses y estos salen por proceso hidráulico sólo con abrir la válvula de lodos. (Ficha técnica de biodigestor Autolimpiable, 2018).

Aguas residuales domésticas: Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, lavado de utensilios, baño, preparación de alimentos, limpieza y drenaje de piso. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que les genera (Metcalf y Eddy, 2003)

Tratamiento de aguas residuales: los principales métodos que se emplean en la actualidad para el tratamiento del agua residual son:

Tratamiento preliminar: se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operación y sistemas auxiliares. Como ejemplo de pre tratamiento podemos citar el desbaste y la dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites 24 y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucción en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos (Metcalf y Eddy, 1995).

En el tratamiento primario: se eliminan una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual, esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. En

el futuro, las plantas de tratamiento que solo incluyen tratamiento primario irán quedando desfasadas, conforme se vayan implantando las medidas de la EPA. En cuanto a la necesidad de disponer de tratamientos secundarios (Metcalf y Eddy, 1995).

El tratamiento secundario: de las aguas residuales esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluya la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados reactores de lecho fijo, sistemas de laguna y la sedimentación (Metcalf y Eddy, 1995).

El termino tratamiento avanzado: tiene diversas definiciones, es el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de la materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias 25 habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación, y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de solidos disueltos, se emplean métodos menos comunes, como el intercambio iónico o la osmosis inversa, (Metcalf y Eddy, 1995).

La Digestión Anaerobia: es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas. (Rodríguez A, 2018).

Los humedales artificiales: son zonas construidas por el hombre en las de forma controlada se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos. El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal. (Reija A., 2013).

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema en el que los principales actores son:

El sustrato: sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes. (Reija A, 2013).

La vegetación (macrófitas): contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que su parte subterránea también se desarrolla la comunidad microbiana. (Reija A, 2013).

El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación. (Reija A, 2013).

En tipos de humedales tenemos

- Humedales artificiales de flujo libre o superficial: el agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos. (Miguel C., 2012).
- Humedales artificiales de flujo subsuperficial: el agua circula a través del sustrato. (Miguel C., 2012).

Los cultivos acuáticos: o sistema de plantas acuáticas flotantes consisten en el contacto que tiene el agua con la atmósfera y constituye la fuente principal de oxígeno para aireación; en la que se siembran plantas flotantes como *Eichhornia crassipes*, los cuales tienen la finalidad de eliminar los diversos compuestos de las aguas residuales a través de sus raíces que constituyen un buen sustrato para el tratamiento. (Celis et al., 2005).

Clases de plantas acuáticas: son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes (León y Lucero, 2009).

-Flotantes: Son aquellas que tienen sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos, también impiden la penetración de la luz evitando que crezcan algas en la profundidad, como plantas flotantes podemos encontrar al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia* y *Azolla*), lechuga de agua (*Pistia* sp) y lentejas (*Lemna* sp; *Wolffia* sp y *Wolffiella* sp) (León y Lucero, 2009).

-Sumergidas: Son aquellas que no flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua o arraigadas en el fondo. Sirven principalmente para oxigenar el agua y nunca se las encuentra en sitios donde existen plantas flotantes, debido a que estas impiden el ingreso de luz y las plantas sumergidas dejarían de realizar la fotosíntesis (León y Lucero, 2009).

-Emergentes: estas plantas crecen enraizadas en el fondo y sus hojas sobresalen de la superficie del agua, entre las más comunes para América del Sur se encuentran el carrizo (*Phragmites* sp), junco (*Juncus* sp) y la espadaña (*Typha* sp); estas especies de plantas son

más usados en humedales artificiales en los que adiciona un medio de soporte para el enraizamiento de las mismas (León y Lucero 2009).

Función de las macrófitas acuáticas en el sistema de tratamiento: las funciones que cumplen las macrófitas acuáticas flotantes en los sistemas de tratamiento son: airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera; absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo); eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos y la filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (García Z, 2012).

Jacinto de agua o *Eichhornia crassipes*: pertenece a la familia *Pontederiaceae*, es una macrófitas acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce (Camacho y Ordoñez 2008). Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática. Se originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Jaramillo y Flores, 2012). Tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy 1995 citado por Celis et al., 2005)

Lenteja de agua o *Lemna minor*: pertenece a la familia *Lemnaceae*, es una planta acuática de agua dulce flotante, con uno, dos o tres hojas cada uno (frondes oblongas) con una sola raíz colgando en el agua. La raíz es de 1-2 cm de largo. (García Z, 2012), Se

encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Armstrong, 2003 citado por Arroyave M, 2004).

Los parámetros que son analizados en tratamientos de aguas tenemos:

Sólidos suspendidos totales: son la materia suspendida presentes en las aguas, nos indican la presencia de sustancias solubles e insolubles expresada en mg/L presentes en el agua. (Caballero Y, 2007).

Temperatura: es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles (Romero 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

Conductividad eléctrica: esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través de agua residual. Puesto que el agua es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de y más concentraciones disueltas. En la actualidad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de aguas para riego y es expresada en mS/cm (Camacho y Ordoñez, 2008).

Turbidez: este parámetro se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (Standard Methods, 1995).

pH: es la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua. Aguas residuales en condiciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5 es decir, entre neutra y ligeramente

alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento II mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH. (García Z, 2012).

Oxígeno disuelto: la presencia oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. No existe concentración mínima de O_2 que cause efectos adversos a la salud humana, pero si existe un límite en cuanto a O_2 que se requiere para sostener la vida de la fauna acuática. Se acepta que concentraciones de 5 mg/L son adecuadas para su desarrollo, en tanto que concentraciones menores a 3 mg/L pueden ser letales (García Z, 2012).

Cloruros: generalmente los cloruros están presentes en aguas brutas y tratadas en concentraciones que pueden variar de pequeños trazos hasta centenas de mg/L. están presentes en formas de cloruros de sodio, calcio y magnesio. La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias (FUNASA, 2013).

Nitrógeno: es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y plantas en el agua. El nitrógeno total está compuesto por nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico. El nitrito no debe exceder de 1 mg/L en las aguas residuales y 0, 1 mg/L en las aguas superficiales y subterráneas. Los nitritos son muy importantes en el estudio de aguas residuales, dada su toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Rojas, 2004 citado por Londoño y Marín, 2009), en tanto los nitratos no deben

superar los 45 mg/L en el agua potable dada sus graves y fatales consecuencias sobre los niños. Las concentraciones de nitratos en efluentes de aguas residuales pueden variar entre 12 y 20 mg/L, con valores típicos entre 15 y 20 mg/L (Metcalf y Eddy, 1995 citado por Londoño y Marín, 2009).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO₅ es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras; el tiempo de incubación de la DBO generalmente es de 5 días y a 20 °C. Las concentraciones de DBO₅ en las aguas residuales varían entre 100 y 300 mg/L, pero los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no deben pasar los 100 mg/L de DBO₅, aunque la concentración más adecuada debe ser por debajo de 15 mg/L (Romero, 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. Mide el oxígeno equivalente químicamente mediante un agente químicamente fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales a la vida biológica. La concentración de DQO en los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no debe sobrepasar los 200 mg/L, aunque para la óptima conservación de los ambientes acuáticos debe estar por debajo de los 40 mg/L (Romero, 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

Fósforo: es importante en el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado

grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales y de escorrentía natural. Las aguas residuales deben contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como compuestos fosfatados. (García Z, 2012).

Sulfatos: se distribuyen ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. La presencia de sulfato en el agua potable puede causar un sabor perceptible, según el tipo de catión asociado; se ha comprobado que los umbrales de sabor oscilan entre 250 mg/L (AguíJar N, 2012).

Organismos patógenos: pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación. Los grupos de coliformes más estudiados en las aguas residuales son los totales y fecales o también llamado termotolerantes (Galvis y Rivera, 2013).

Fórmula 1. *Cálculo del porcentaje de remoción.*

$$CF = C_o(1 - R) \quad C_o: \text{Concentración inicial}$$

$$\frac{CF}{C_o} = 1 - R \quad \%R: \text{Porcentaje de remoción}$$

$$\%R = \left(1 - \frac{CF}{C_o}\right) 100\% \quad CF: \text{Concentración final}$$

Variables

Variable independiente: Eficiencia entre los biodigestores y los humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Variable dependiente: Tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante biodigestores y humedales artificiales.

Justificación del problema.

La presente investigación fue realizada con la finalidad de conocer que sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas es más eficiente si los biodigestores o los humedales artificiales mediante la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para luego ser comparados con los LMP Decreto supremo N° 003-2010-MINAM) y así verificar la disminución de la contaminación ambiental aplicando estos sistemas de tratamiento.

1.2. Formulación del problema

¿Qué sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas es más eficiente en la remoción de contaminantes si los biodigestores o humedales artificiales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Estudiar la eficiencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre los biodigestores y los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Demostrar que sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas es más eficiente en la remoción de los parámetros DQO, DBO5, STS, CF
- ✓ Comprobar si las aguas residuales domésticas tratadas de ambos sistemas cumplen con los LMP (Decreto supremo N° 003-2010-MINAM)
- ✓ Determinar la influencia de los tratamientos en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- ✓ En el tratamiento de las aguas residuales domésticas los biodigestores son menos eficientes en remover los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que los humedales artificiales.

1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Los humedales artificiales tienen mayor eficiencia en la remoción de los parámetros DQO, DBO5, STS, CF en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
- ✓ Las aguas tratadas de ambos sistemas de tratamiento cumplen con los LMP (Decreto supremo N° 003-2010-MINAM)
- ✓ En los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos existen alguna influencia en los tratamientos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

El presente trabajo está enmarcado en un carácter descriptivo y en parte explicativo; ya que dicha información y datos están extraídos de la literatura científica en el desarrollo de estudios reales sobre la eficiencia de los biodigestores y humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas, estos estudios están basados en un contexto científico, para luego analizarlos y contrastar los resultados y poder así replicar al planteamiento del problema y dar una afirmación a las hipótesis planteadas y concretar las debidas conclusiones.

Un estudio descriptivo es donde nos describe situaciones, eventos y hechos. Esto es, decir cómo es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. (Beato H, 2015).

También nos menciona sobre un estudio explicativo es la magnitud de los medios de propaganda en los medios de comunicación colectiva y con los resultados de la elección anterior. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los otros tipos de estudio y proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia; (Beato H, 2015).

2.2 Población y muestra

Población: Todos los estudios de tratamientos de agua residuales domésticas con biodigestores y humedales artificiales donde se encuentra información relacionada a la eficiencia de ambos sistemas de tratamiento mediante la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Muestra: 25 estudios de tratamientos de agua residuales domésticas con biodigestores y humedales artificiales de los cuáles se seleccionó 10 estudios entre internacionales y nacionales con biodigestores realizadas en zonas urbanas y alto andinas que se encuentran entre los 2000 m s. n. m. hasta los 4400 m s. n. m. y 15 investigaciones de tratamientos con humedales artificiales donde su principal finalidad es evaluar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas a través de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Materiales

Trabajos de escritorio

- ✓ Laptop.
- ✓ USB.
- ✓ Calculadora.
- ✓ Lapiceros
- ✓ Libros
- ✓ Artículos científicos
- ✓ Tesis

Softwares

- ✓ Microsoft office.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Observación indirecta: El presente trabajo se adscribe a la investigación descriptiva, en donde se revisó estudios internacionales y nacionales sobre la eficiencia de los biodigestores y los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas, este tipo de investigación nos faculta establecer una descripción de variable, en este caso es “Eficiencia de los biodigestores y los humedales artificiales”. los instrumentos utilizados para dicho análisis de la información sobre la eficiencia de los biodigestores en el

tratamiento de aguas residuales domésticas por que se realizó la búsqueda de información como tesis, artículos científicos

Base de datos: se consultó los límites máximos permisibles para considerar los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se deberían de tratar en aguas residuales.

Páginas web: la información fue extraída de fuentes confiables como Scielo, Dialnet, Google académico donde se seleccionaron 10 estudios de biodigestores y 15 de humedales artificiales, de los cuales se obtuvieron sus promedios de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Procesamiento y análisis de datos: para la información recolectada se utilizó diferentes tecnologías y programas existentes (Microsoft), Seguidamente se ha procesado la información obtenida de las fuentes secundarias mediante:

- ✓ Hojas de cálculo en Excel,
- ✓ Tablas
- ✓ Gráficos de barras,
- ✓ Cuadros comparativos, entre otros.

2.4 Procedimiento

Ordenamiento de datos: en la investigación consistió en ordenar los datos obtenidos de los estudios seleccionados para las variables categóricas se obtuvo porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para luego aplicando al fórmula de porcentaje de remoción tanto para los biodigestores y humedales artificiales de aguas residuales domésticas, para variables numéricas se obtuvo los promedios de salida de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, esto se hará mediante el apoyo de la computadora utilizando el programa de Excel para posteriormente analizarlos a partir de los objetivos y las hipótesis planteadas y así poder responder a la pregunta de investigación.

Revisión bibliográfica: consistió en la revisión sistemática de la literatura, buscado fuentes informativas con carácter similar al presente tema; esencialmente se ha tomado de buscadores virtuales como: Scielo, Redalyc, Science, Dialnet, Google académico, Alicia.net y páginas virtuales de diversas universidades nacionales e internacionales; de los cuales se han podido extraer artículos científicos, revistas científicas y tesis, cuyo tenor expresan información sumamente importante para poder plasmar y clarificar el objetivo que se viene percibiendo en el presente estudio.

Tabla 1. Listado de los 25 estudios de biodigestores y humedales artificiales.

Fuente	Tipo de documento	Lugar	Título
Calderón, P, 2014	Tesis	Guatemala	"Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias"
Mancha R, 2015	Tesis	Puno	“Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor Autolimpiable en el centro poblado de Sanquira –Yunguyo”
León, E, 2018	Tesis	Moquegua	“Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chibaya baja – Torata – Moquegua”
Espillico, E, 2014	Tesis	Cusco	“Monitoreo y evaluación del tratamiento de aguas residuales domesticas con biodigestores en la comunidad alto Ayracollana - provincia de Espinar – Cusco -2014”
Gutiérrez, Rivera y Roldán, 2016	Artículo	Ecuador	“Análisis de la calidad de los efluentes de los biodigestores en los lodges ubicados en la zona alta de la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno 2016”
Cortes y Meza, 2015	Tesis	Puno	“Evaluación de un sistema de aguas servidas a partir de un biodigestor con plantas acuáticas en la reserva natural Nukanchi de la Minga Asorquidea de la asociación para el desarrollo campesino-ADC”

Pinto y Quipuzco, 2014	Artículo	Lima	“Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria”
Sánchez, Peón, Cardona, Ortega y Urriolagoitia, 2016	Artículo	Colombia	"Evaluación inicial de parámetros de campo en un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales"
Mejía y Pérez, 2016	Tesis	Apurímac	“Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse - Apurímac”
Nina, R, 2015	Tesis	Cusco	“Evaluación de biodigestor de polietileno Rotoplas en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar”
Leon y Lucero, 2008	Artículo	Cotacachi - Ecuador	“ <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i> , en el tratamiento de aguas residuales aplicando a sistemas unifamiliares y comunitarios en el cantón Cotacachi- Ecuador”
Ayala, Calderón, Rascón, Gómez y Collazos, 2018	Artículo	Amazonas	“Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Nymphoides humboldtiana</i> y <i>Nasturtium officinale</i> ”
Celis, Montano y Sandoval, 2005	Artículo	Chile	“Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas”
Coronel, E, 2016	Tesis	Amazonas	"Eficiencia del jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas,2015”
Martelo y Lara, 2012	Artículo	Colombia	"Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte"
León y Lucero, 2015	Artículo	Ecuador	"Plantas acuáticas en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas"

Gómez, Y, 2017	Tesis	Lima	“Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando <i>Cyperus alternifolius</i> y <i>Chrysopogon zizanioides</i> para el tratamiento de aguas servidas”
Rodríguez y Rodríguez, 2008	Tesis	Chao-Virú Trujillo	"Depuración de aguas residuales, usando humedales artificiales subsuperficiales en el distrito de Chao"
Vargas, L, 2015	Tesis	Moyobamba	“Evaluación de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015”
Carrera y Florián, 2013	Tesis	Colombia	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) con lenteja de agua"
Valderrama, L, 1996	Artículo	Santa Fe - Colombia	"Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, <i>Limnobiun laevigatun</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> para el tratamiento de aguas residuales agro industriales"
Rodríguez, Gómez, Garavito y López, 2010	Artículo	Colombia	"Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales"
Ramos, Rodríguez y Martines, 2007	Artículo	México	"Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo"
Vizcaíno y Fuentes, 2016	Artículo	Colombia	"Efectos de <i>Eisenia foetida</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos"
Romero, Colin, Sánchez y Ortiz, 2009	Artículo	México	"Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica"

Trabajo de gabinete: En este trabajo se utilizó Laptop. USB, Calculadora.

Lapiceros, Libros Artículos científicos, Tesis.

Elaboración de tesis: se consideró el tema relacionado a nuestra carrera sobre la realidad problemática de hoy en día sobre las aguas residuales domésticas.

Aspectos éticos: Este trabajo realizado no es una copia, porque se ha revisado varias fuentes seguras y dichos resultados son de plena confiabilidad, debido a que se trabajó con varios estudios de carácter científico.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Tabla 2. Resultados del porcentaje de remoción de tratamiento de aguas residuales domésticas con biodigestores.

Título de la investigación	% de remoción de los parámetros con biodigestores			
	DBO ₅	DQO	SST	CF
"Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias"	43.59%	52.73%	88.03%	
"Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del v biodigestor Autolimpiable en el centro poblado de Sanquira –Yunguyo"	28.24%	26.44%	57%	33.61%
"Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chibaya baja – Torata – Moquegua"	56.79%	49.16%	52.78%	89.19%
"Monitoreo y evaluación del tratamiento de aguas residuales domesticas con biodigestores en la comunidad alto Ayracollana - provincia de Espinar – Cusco -2014"	21.80%	23.06%	51.36%	32.16%
"Análisis de la calidad de los efluentes de los biodigestores en los lodges ubicados en la zona alta de la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno 2016"	51.53%	63.12%		
"Evaluación de un sistema de aguas servidas a partir de un biodigestor con plantas acuáticas en la reserva natural Nukanchi de la Minga Asorquidea de la asociación para el desarrollo campesino-ADC"	41%	79%		
"Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria"				61.82%

"Evaluación inicial de parámetros de campo en un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales"			99.99%	
“Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse - Apurímac”	44.6%	-21%	65%	30%
“Evaluación de biodigestor de polietileno Rotoplas en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar”	71%	69%	76%	39%

Tabla 3. Resultados del porcentaje de remoción de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales.

Título de investigación	% de remoción con humedales artificiales			
	DBO ₅	DQO	SST	CF
“ <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i> , en el tratamiento de aguas residuales aplicando a sistemas unifamiliares y comunitarios en el cantón Cotacachi- Ecuador”	87%	76%	95%	
“Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Nymphoides humboldtiana</i> y <i>Nasturtium officinale</i> ”	84%	84%	80%	92%
“Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas”	80%	72%	93%	
"Eficiencia del jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas, 2015”	90%	87%	87%	97%
"Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte"	90%	75%	87%	

"Plantas acuáticas en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas"	87%	76%	95%	
"Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando <i>Cyperus alternifolius</i> y <i>Chrysopogon zizanioides</i> para el tratamiento de aguas servidas"	97%	91%	86%	95%
"Depuración de aguas residuales, usando humedales artificiales subsuperficiales en el distrito de Chao"	66%	68%		
"Evaluación de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015"	62%		57%	63%
"Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) con lenteja de agua"	79%		84%	97%
"Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, <i>Limnobiun laevigatun</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> para el tratamiento de aguas residuales agro industriales"	76%	26%	68%	
"Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales"	71.0%			
"Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo"			71%	
"Efectos de <i>Eisenia foetida</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos"	39%	71%	74%	
"Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica"	80%	75%		

Tabla 4. Comparación de resultados del porcentaje de remoción de biodigestores y humedales artificiales.

Parámetros	% de remoción con biodigestores	% de remoción con humedales artificiales
------------	---------------------------------	--

Demanda química de oxígeno	42.68%	72.91%
Demanda bioquímica de oxígeno	44.82%	78.03%
Sólidos suspendidos totales	70.02%	82.77%
Coliformes fecales	47.63%	89.17%

A continuación, colocamos su respectivo gráfico de cada parámetro comparando su porcentaje de remoción con biodigestores y con los humedales artificiales.

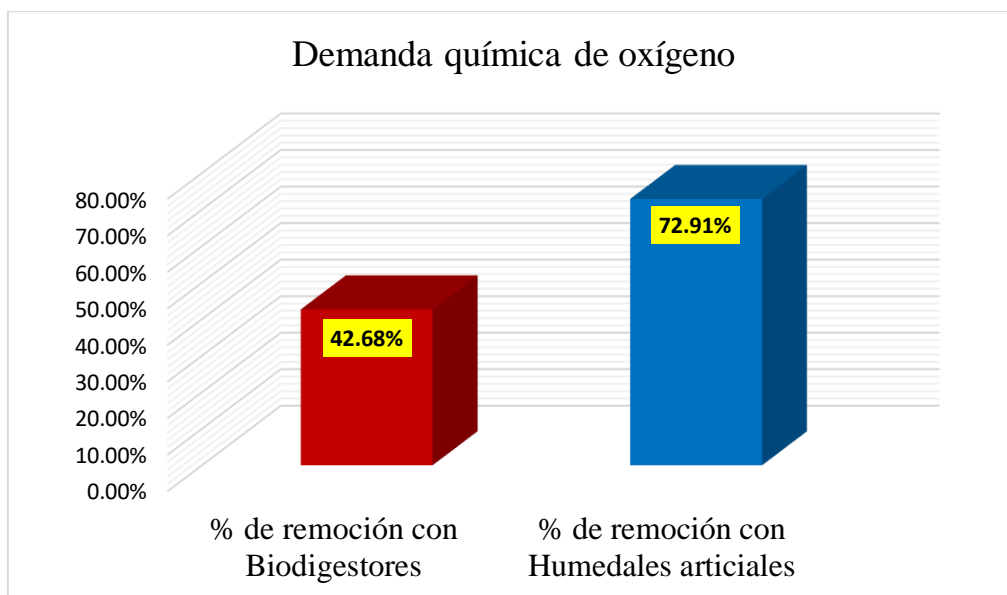


Figura 2. Porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno con biodigestores y con humedales artificiales.

En la figura 2 se muestra un porcentaje mayor de remoción en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales el parámetro DQO con un 72.91 %, mientras con el sistema biodigestores su eficiencia es de un 42.68 %.

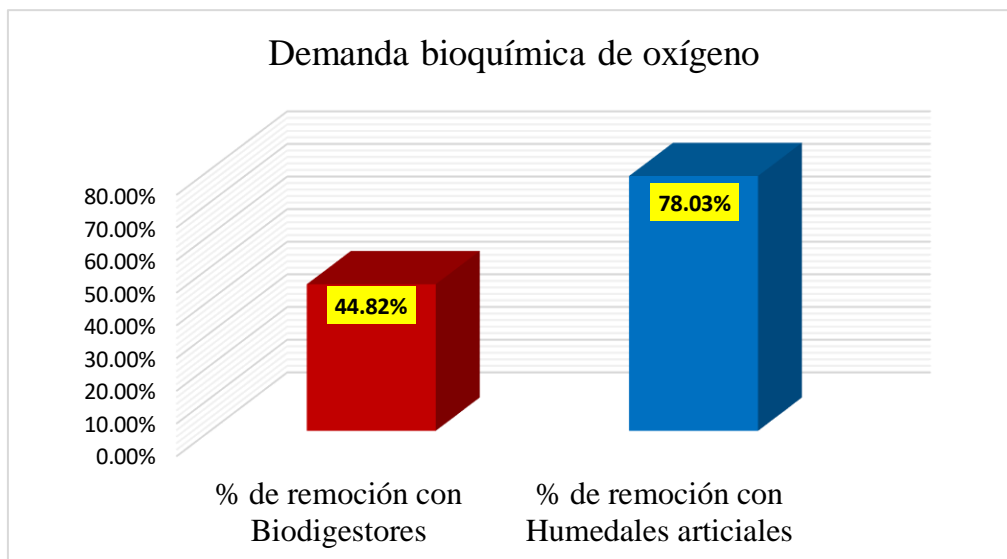


Figura 3. Porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno con biodigestores y con humedales artificiales.

En la figura 3 se verifica que el parámetro DBO₅ presenta un porcentaje de remoción 78.03 % en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales y el sistema de tratamiento con biodigestores su remoción es de un 44.82 %.

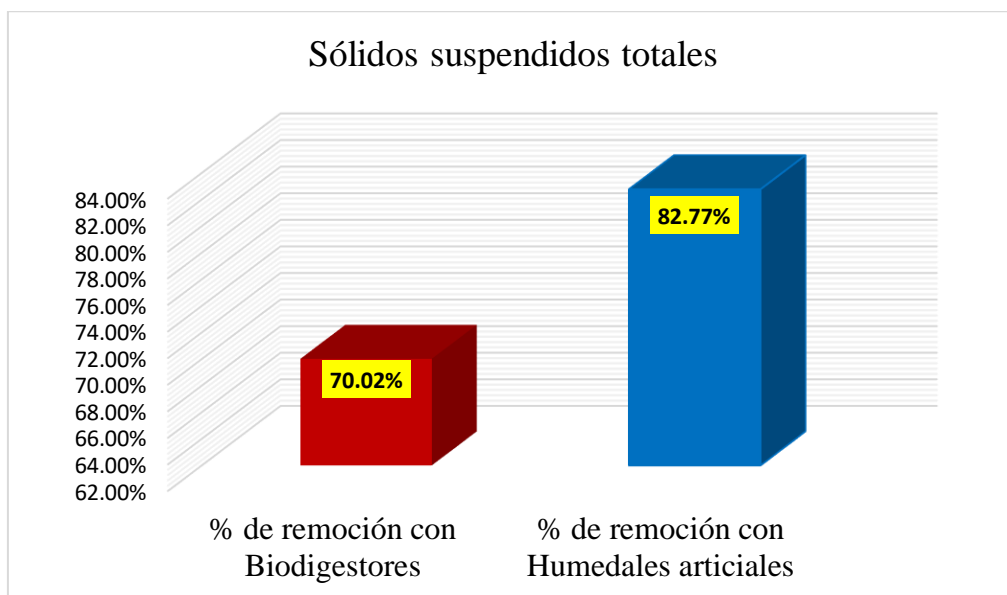


Figura 4. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales con biodigestores y con humedales artificiales.

En la figura 4 observamos un porcentaje de remoción de 82.77% de sólidos suspendidos totales del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales y un porcentaje de remoción de 70.02 % en el sistema de tratamiento con biodigestores.

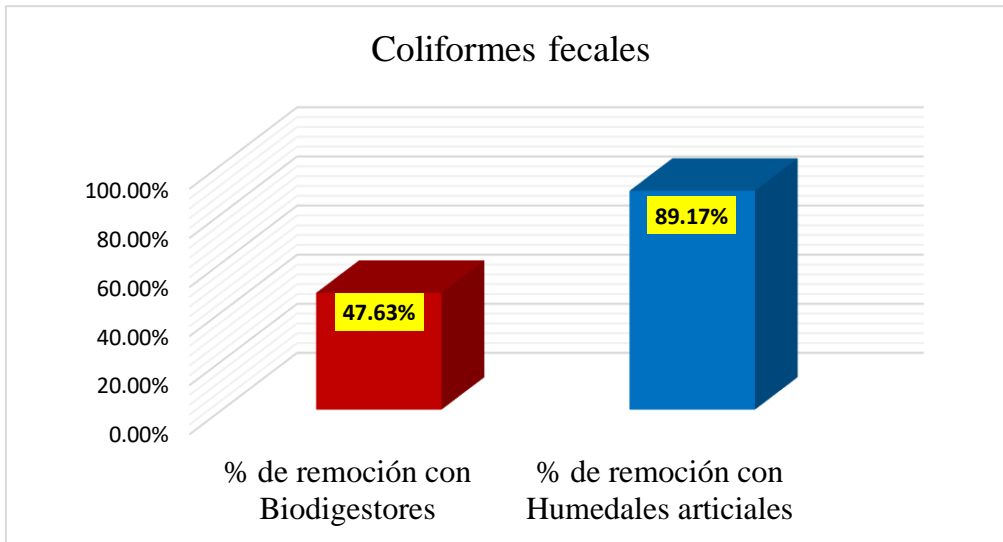


Figura 5. Porcentaje de remoción de coliformes fecales con biodigestores y con humedales artificiales.

En la figura 5 se muestra que en sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales removi6 un 89.17 % de coliformes fecales, por su parte el sistema de tratamiento con biodigestores solo pudo remover un 47.63 %.

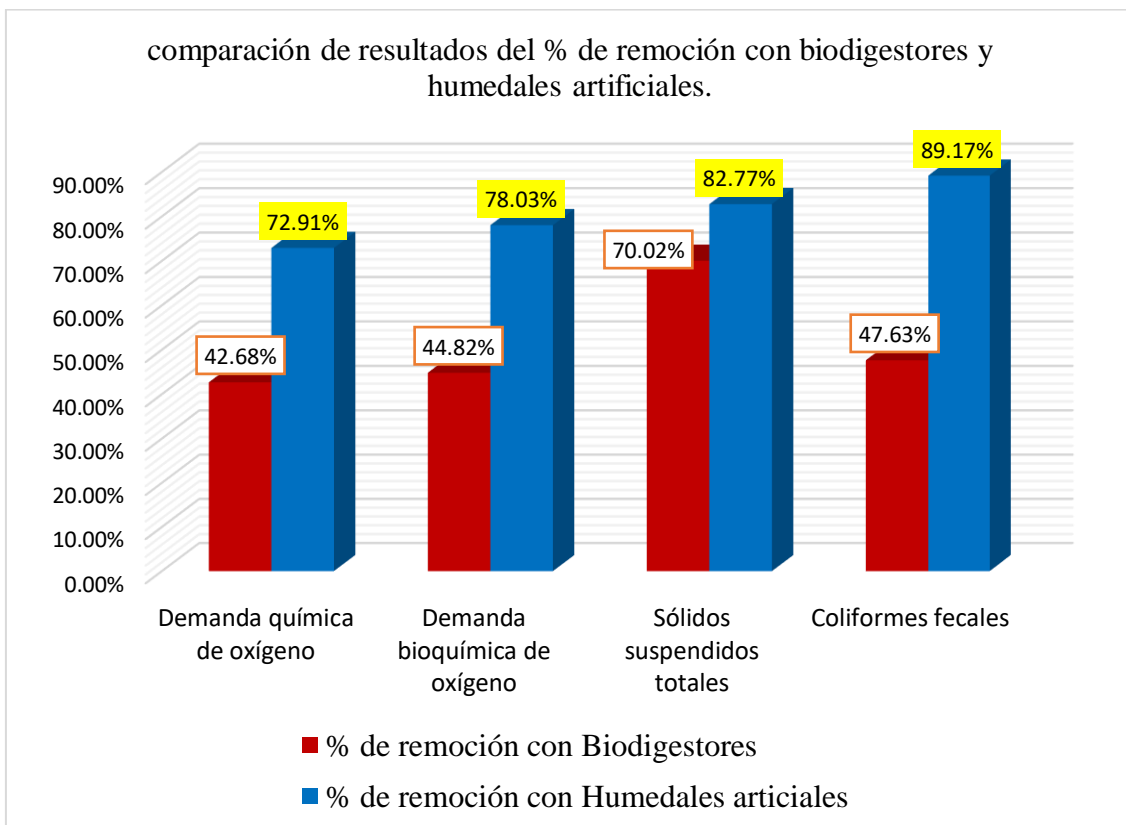


Figura 6. Porcentaje de remoción de coliformes fecales con biodigestores y con humedales artificiales.

En la figura 6 podemos apreciar que el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales es más eficiente en todos los parámetros comparados con el sistema de tratamiento de biodigestores.

A continuación, presentamos la comparación de los resultados de biodigestores y los humedales artificiales con los LMP del decreto SUPREMO N° 003-2010-MINAM, mediante tablas y figuras.

Tabla 5. Comparación de Resultados del sistema de tratamiento de aguas domésticas con biodigestores y los LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

Parámetros	Unidades	Promedio final de salida con biodigestores	LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	Cumple
Coliformes	NMP/100	39105	10000	No
Termotolerantes	mL			cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	255	100	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	498	200	No cumple
pH	Unidad	8	6.5-8.5	Cumple
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	57	150	Cumple
Temperatura	°C	18	<35	Cumple

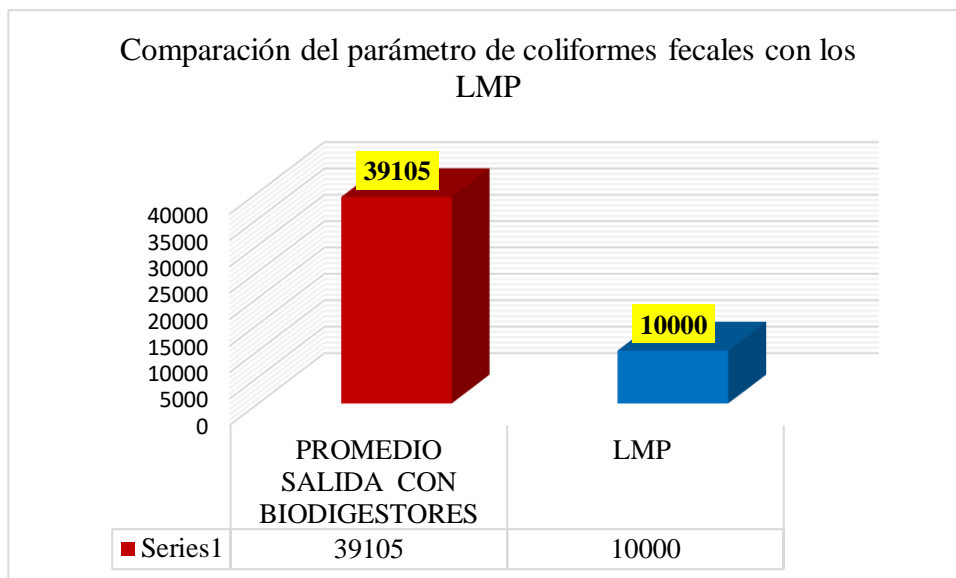


Figura 7. Comparación del parámetro de coliformes fecales en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 7 podemos apreciar la comparación de parámetro coliformes fecales del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que excede la cantidad máxima permitida.

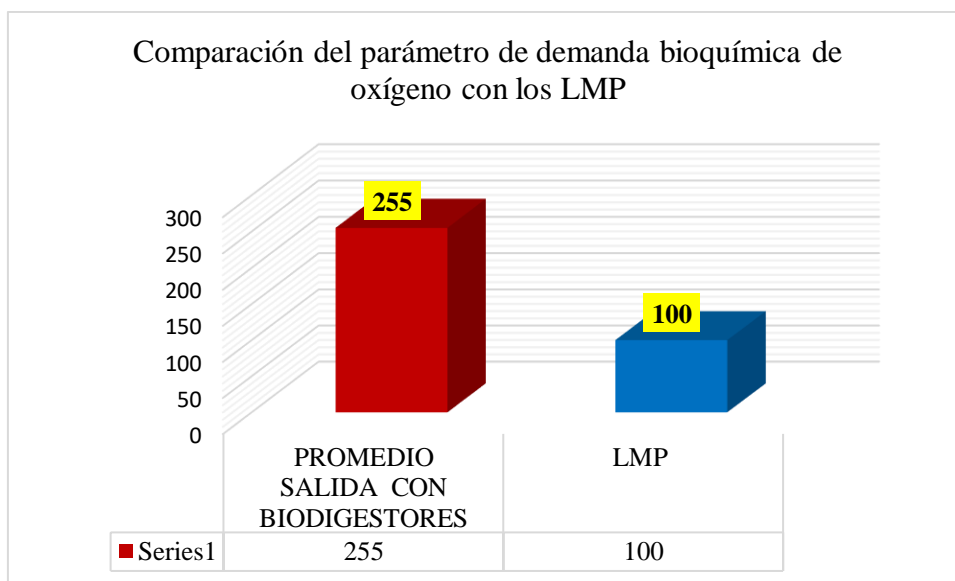


Figura 8. Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 8 podemos apreciar el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que no cumplen ya que exceden la cantidad máxima permitida.

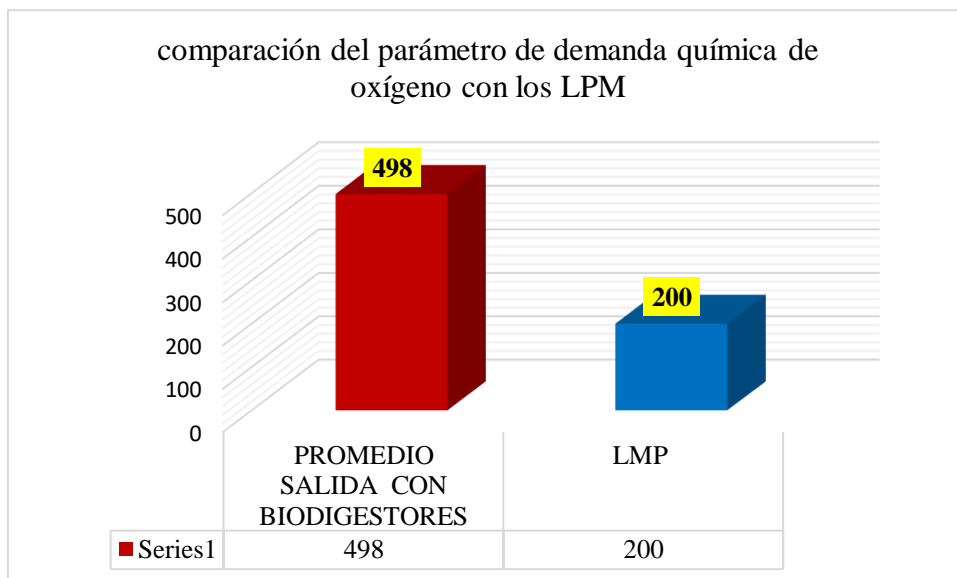


Figura 9. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 9 podemos observar la comparación del parámetro demanda química de oxígeno del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que excede la cantidad máxima permitida.

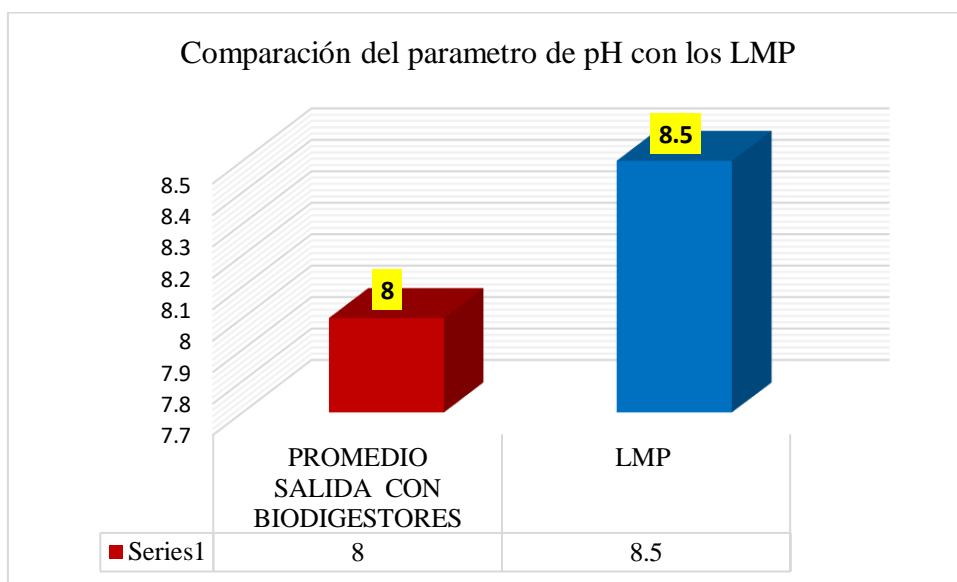


Figura 10. Comparación del parámetro de pH en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 10 podemos apreciar la comparación del parámetro de pH del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, si cumple, ya que está por debajo del límite establecido.

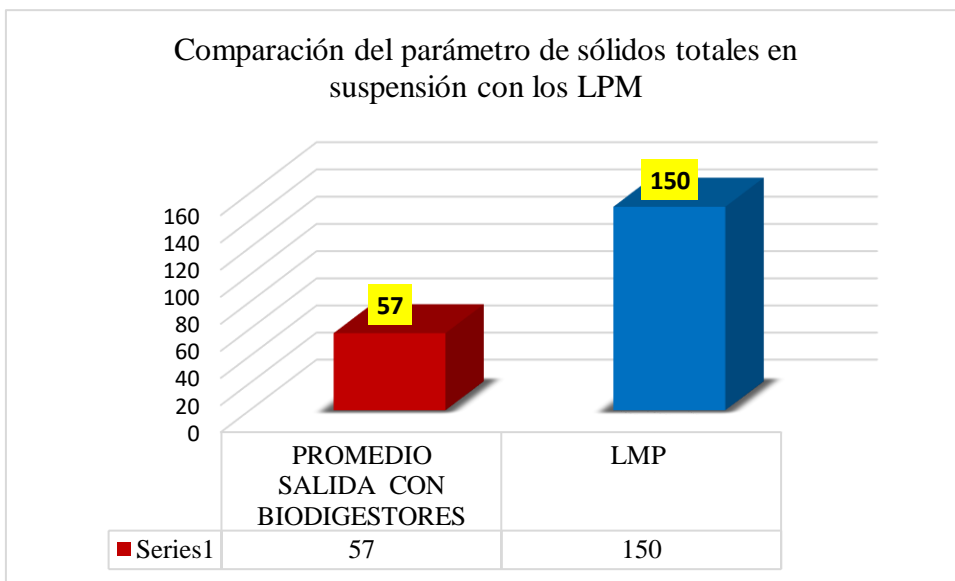


Figura 11. Comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 11 podemos apreciar la comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que está por debajo del límite.

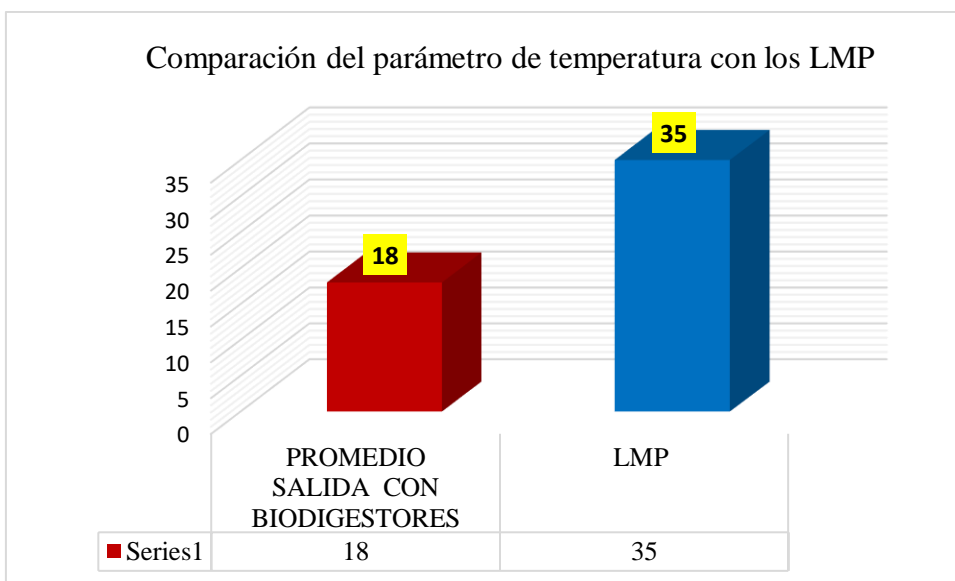


Figura 12. Comparación del parámetro de temperatura en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 12 podemos apreciar la comparación del parámetro de temperatura del tratamiento de agua residuales domésticas mediante biodigestores con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que está por debajo y así cumpliendo con los límites establecidos.

Tabla 6. Comparación de Resultados del sistema de tratamiento de aguas domésticas con humedales artificiales y los LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

Parámetros	Unidades	Promedio final de salida con humedales artificiales	LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	Cumple
Coliformes	NMP/100mL	1647	10000	Cumple
Termotolerantes				
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	45	100	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	36	200	Cumple
pH	Unidad	7	6.5-8.5	Cumple
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	7	150	Cumple
Temperatura	°C	19	<35	Cumple

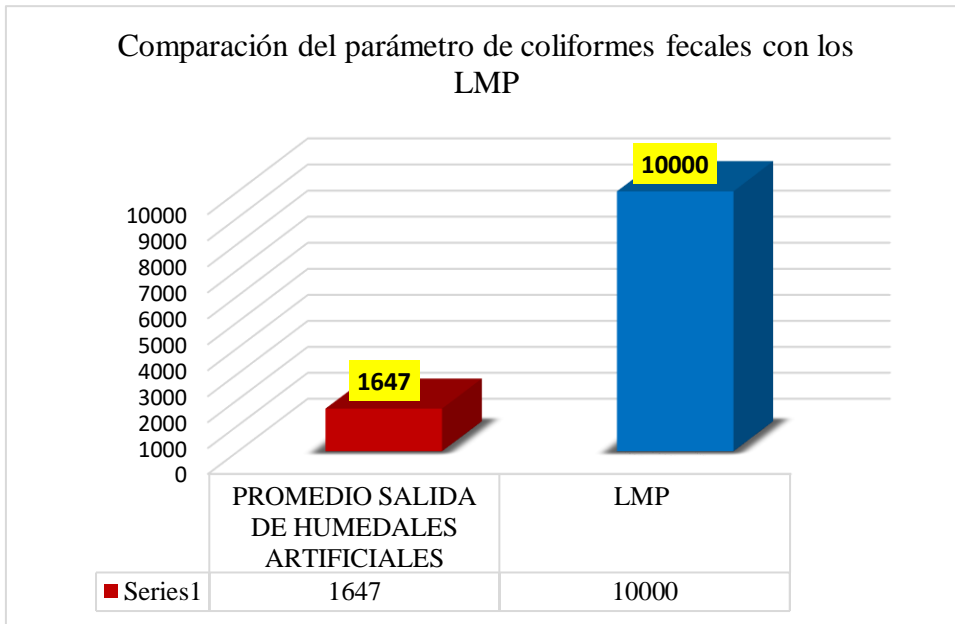


Figura 13. Comparación del parámetro de coliformes fecales en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 13 podemos apreciar la comparación del parámetro de coliformes fecales del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, donde se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de la norma.

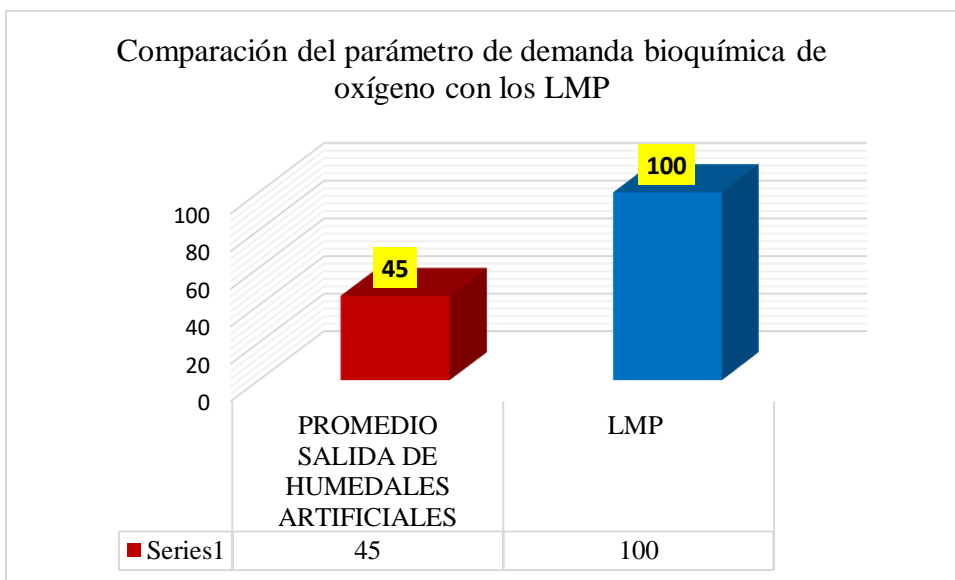


Figura 14. Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 14 podemos observar la comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales

artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, donde cumple con la norma establecida.

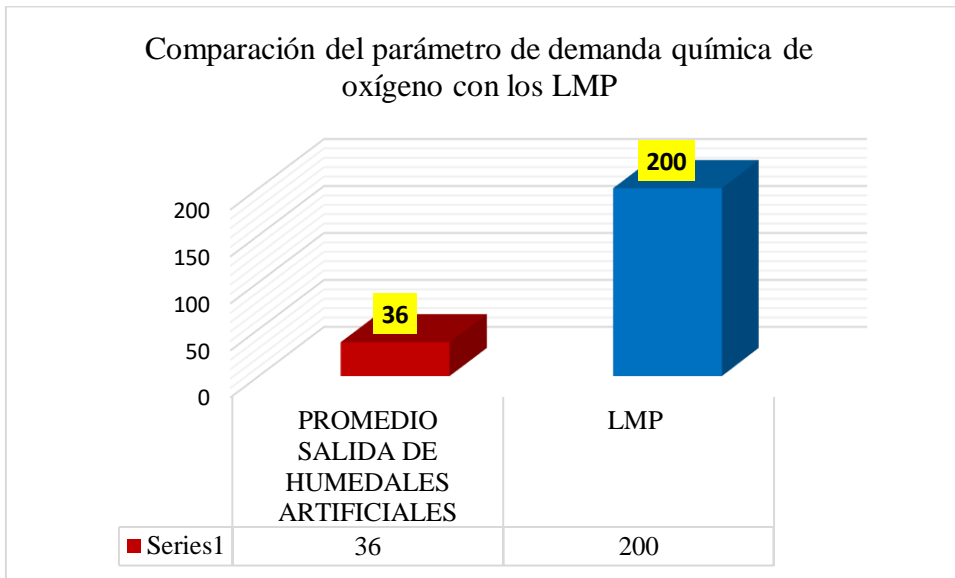


Figura 15. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 15 podemos estimar la comparación del parámetro de química de oxígeno del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, donde se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de la norma.

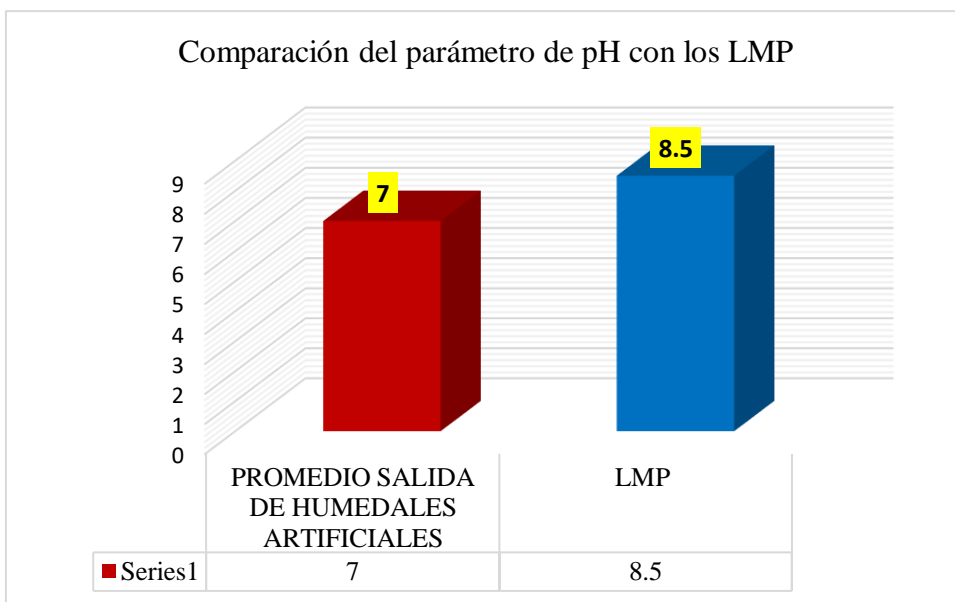


Figura 16. Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 16 podemos apreciar la comparación del promedio final del parámetro de pH del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, donde su cantidad está por debajo de los Limites.

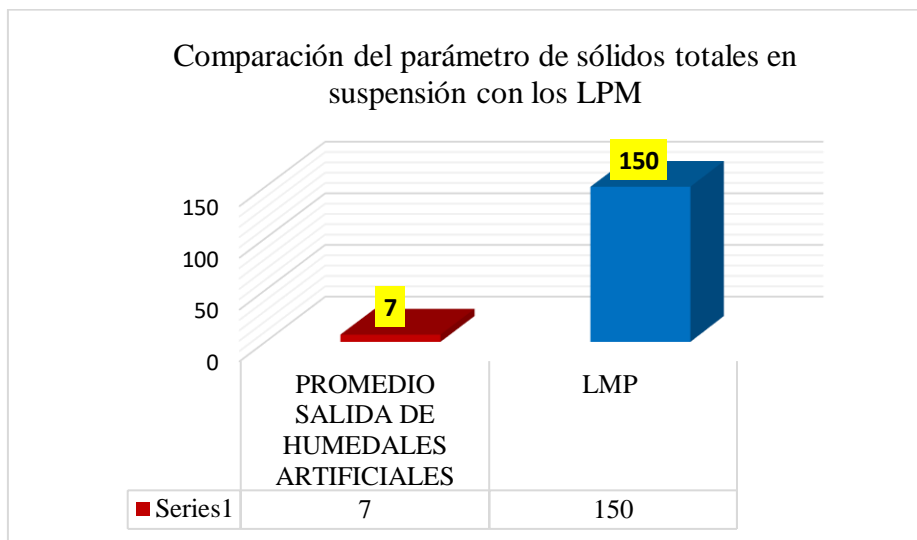


Figura 17. Comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 17 podemos estimar la comparación del parámetro de sólidos totales en suspensión del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, que, si cumple, ya que sus valores están por debajo de la norma.

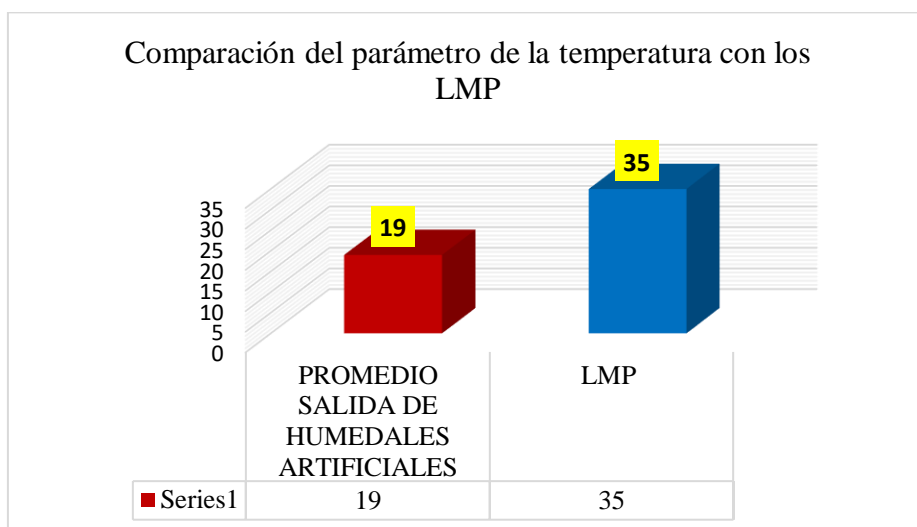


Figura 18. Comparación del parámetro de temperatura en el tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

En la figura 18 podemos observar la comparación del parámetro de temperatura del tratamiento de agua residuales domésticas mediante humedales artificiales con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, donde se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la norma.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

De los estudios analizados del uso de biodigestores y humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas tenemos que su porcentaje de remoción promedio total de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los 10 estudios con biodigestores analizados verificamos que son más eficientes en remoción de demanda química de oxígeno (DQO) presentando una remoción promedio de 42.68%, existiendo un porcentaje de remoción de diferencia mínima con la tesis de (León E, 2018) donde tiene el 49.16% y en demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 44.82%, de igual manera la investigación de (Mejía y Pérez, 2016) presentó un 44,6% de remoción, en sólidos suspendidos totales existió un mayor porcentaje de remoción de 70.02% por lo cual el estudio que más se acercó a esta remoción es la de (Nina R, 2015) que alcanzó un 76% de remoción, y un 39%, en coliformes fecales comparado con un 47.63% promedio de remoción total; en cuanto a la comparación de las salidas de las aguas residuales tratadas mediante biodigestores de los parámetros comparados con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, evidenciamos que los coliformes fecales, DBO₅ y DQO no cumplen con los LMP ya que exceden la cantidad máxima permitida; por ende, no cumplir los parámetros con los LMP y en la variación de la remoción varía de acuerdo a los cuidados de uso y mantenimiento que se realice en los mismos ya que al no hacer el correcto uso de los biodigestores altera su funcionamiento de esta manera siendo menos eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el caso de los 15 estudios de humedales artificiales existió mejor porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en comparación con los biodigestores teniendo mayor eficiencia de remoción en demanda química de oxígeno (DQO) un 72.91%, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con un 78.03% sólidos

suspendidos totales 82.77%, coliformes fecales 89.17%, en el artículo de (Ayala et al., 2018) obtuvieron sus porcentajes de remoción de demanda química de oxígeno 84 %, en DBO₅ ,84%, sólidos suspendidos totales 80% y en coliformes fecales un 92 %

Por otra parte, (Coronel E, 2016) en su tesis tiene como resultados de porcentaje de remoción de DQO el 90%, en DBO₅ 87%, solidos suspendidos totales 87 % y en coliformes fecales un 97 %, además después de realizar la comparación de los parámetros de salidas de las aguas residuales domésticas con los LMP donde todos los parámetros se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la norma; de esta manera quedando positiva nuestra hipótesis que los biodigestores son menos eficientes que los humedales artificiales en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, por tanto podemos decir que estos tratamientos no son recomendados ya que no se tiene un mayor control de contaminantes de las aguas residuales domésticas que son vertidas al ambiente sin ningún tipo de tratamiento contaminando el suelo y el agua y causar daños en la salud humana.

4.2 Conclusiones

- ✓ Se estudió la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas entre los biodigestores y los humedales artificiales, mediante la revisión sistemática de estudios previos, concluyendo que en el sistema de tratamiento con biodigestores existió menor porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con respecto al sistema de tratamiento con los humedales artificiales.
- ✓ Se demostró que el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales es más eficiente por presentar mayor porcentaje de remoción promedio total de todos los estudios analizados, en demanda química de oxígeno

(DQO) un 72.91%, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) con un 78.03%, sólidos suspendidos totales 82.77% y coliformes fecales 89.17%.

- ✓ Se comprobó que las aguas residuales domésticas tratadas de ambos sistemas con los LMP del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, cumpliendo en los humedales artificiales todos los parámetros comparados y en los biodigestores solo pH, sólidos totales en suspensión y la temperatura.
- ✓ Se determinó la influencia de los tratamientos en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos concluyendo que la temperatura influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica para dichos tratamientos entre los biodigestores y los humedales artificiales.

REFERENCIAS

- AguiJar N., (2012). *Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua apta para el consumo humano de Concepción Quezaltepeque, Chalatenango*. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador, pág:36.
- Arroyave M., (2004). *La lenteja de agua (Lemna minor l.): una planta acuática promisoría*. Revista EIA, Vol. (1), pág:33-38. Recuperado el 11 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100004&lng=en&tlng=es.
- Arroyave M., (2004). *La lenteja de agua (Lemna minor): Una planta promisoría*. Medellín, Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia, pág:34.
- Ayala R., Calderón E., Rascón J., Gomes V. y Collazos R., (2019). *Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia crassipes, Nymphoides humboldtiana y Nasturtium officinale*. Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable, 2(3), pág:48-53.
- Beato H., (2015). *Metodología de la investigación*. recuperado de <https://slideplayer.es/slide/3049846/>
- Biodigestor., (2017). *EcuRed*, Consultado el 16:09, mayo 10, 2019 en <https://www.ecured.cu/index.php?title=Biodigestor&oldid=3028371>
- Caballero Y., (2007). *Potencial hidrobiológico y calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Ochomogo*. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, pág:42.
- Calderón P., (2014). *Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0451_MT.pdf

- Camacho J y Ordoñez L., (2008). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con Eichhornia crassipes para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana, pág:27- 40.*
- Carrera S y Florián A., (2013). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) con lenteja de agua.*
- Celis J, Junod J, y Sandoval M., (2005). *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas.* Recuperado el 18 de abril de 2014, de Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas: <http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a2.pdf>
- Chulluncuy N., (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería industrial,* (029), pág:153-170.
- Condori E y Salvador E., (2014). *Monitoreo y evaluación del tratamiento de aguas residuales domesticas con biodigestores en la comunidad Alto Ayraucollana-provincia de Espinar–Cusco-2014.* Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5443>
- Coronel E., (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lentejas de agua (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas-2015.*
- Cortes O y Meza G., (2015). *Evaluación de un sistema de descontaminación de aguas servidas a partir de un biodigestor con plantas acuáticas en la reserva natural Nukanchi de la Minga Asorquidea de la Asociación para el Desarrollo Campesino–ADC.* Recuperado de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90746.pdf>

Cruz M., Carbo N., Gonzales J. Tito L., Depaz K., Torres S y Quispe W., (2016).

Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie Eichhornia crassipes, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, N°(08), pág:53-65.

Cuchillo O., (2019). *Los biodigestores, importancia y beneficios*. Retrieved from <https://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios>

Espinoza M y Lucero A., (2010). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitario y unifamiliares del cantón Cotacachi (Bachelor's thesis)*.

Ficha técnica de biodigestor Autolimpiable., (2018). [ebook] IPROCON. Available at: <http://www.proconsrl.com/pdfs/3.pdf> [Accessed 12 May 2019].

Frers, C. (2008). *El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Observatorio Medioambiental, (11), pág:301-306.

FUNASA (Fundación Nacional de la Salud), (2013). *Manual práctico de análisis de agua*. 4ta ed. Brasilia, Brasil, pág:48.

Galvis J y Rivera X., (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PT ARI) de la Empresa Jugos Hit de la Ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira*, pág:21-34.

García Z., (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Obtenido de Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas: http://ac.els-cdn.com/S0925857413004230/1-s2.0-S0925857413004230-main.pdf?_tid=340ca71e-d2f5-11e4-9d54-*

- Gómez Y., (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas.*
- Gutiérrez I., Rivera E y Roldan G., (2016). *Análisis de la calidad de los efluentes de los biodigestores en los lodges ubicados en la zona alta de la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.* Enfoque UTE, 7(3), pág:57-69.
69. <https://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.105>
- Jaramillo M y Flores E., (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minar (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana,* pág:40.
- Leon E., (2018). *Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chibaya Baja–Torata–Moquegua. (tesis pregrado).* recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8429>.
- León M y Lucero A., (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lermma gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Canton Cotacachi. Ibarra, Ecuador. Universidad. Técnica del Norte,* pág: 29-37.
- León M y Lucero A., (2015). *Plantas acuáticas en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas.* Num.5-2015-Art.1.
- León R., Pernía B., Siguencia R., Franco S., Noboa A y Cornejo X., (2018). *Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas.* Enfoque UTE, 9(4), pág:131-144.
- Londoño L y Marín C., (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua*

residual sintética. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, pág:14-29.

Mancha R., (2015). *Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor Autolimpiable en el centro poblado de Sanquira-Yunguyo. (tesis pregrado)*
Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4600>

Martelo J y Lara J., (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte.* Ingeniería y ciencia, 8(15), pág:221-243.

Mejía F y Pérez K., (2016). *Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodigestor pre fabricado en la subestación eléctrica Cotaruse-Apurímac (tesis pregrado).* Recuperado de http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2591/P10_M43-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metcalf L y Harrison E., (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid: McGraw-Hill, D.L. Recuperado de http://www.biblioteca.une.edu.pe/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=8768&shelfbrowse_itemnumber=85547#holdings

Metcalf L y Harrison., (2003) *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento y reutilización.* 4ª Edición, McGraw-Hill, Nueva York.

Miguel C., (2012). *Los humedales artificiales.* Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

Morales G., (2008). *Tendencia en investigación en Ingeniería Ambiental.* Medellín: Sello Editorial.

- Nina R., (2015). *Evaluación de biodigestor de polietileno Rotoplas en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar.* (tesis pregrado) Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2032>
- Pinto L y Quipuzco L., (2015). *Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria.* In *Anales Científicos* (Vol. 76, Nº. 1, pág:87-93). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramos M., Rodríguez L y Martínez P., (2007). *Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo.* *Hidrobiológica*, 17(Supl. 1), 7-15. Recuperado en 11 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972007000400002&lng=es&tlng=es.
- Recuperado de (“<https://www.engormix.com/MA-porcicultura/noticias/eficiencia-biodigestores-oxynova-como-t22915/p0.htm>”,2016
- Reija A., (2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales.* Conceptos e historia. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>
- Reyes J y Reyes J., (2008). *Depuración de aguas residuales, usando humedales artificiales subsuperficiales en el Distrito de Chao.*
- Rodríguez A., (2018). *tratamiento anaerobio de aguas residuales.* 2020, febrero 26, de baixardoc.com Recuperado de <https://baixardoc.com/documents/tratamiento-anaerobio-de-aguas-residualess-5c5de6db1d2cb>
- Rodríguez J., Gómez E., Garavito L y López F., (2010). *Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales.* *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), pág:59-68. Recuperado

en 12 de mayo de 2020, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

[24222010000100005&lng=es&tlng=.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000100005&lng=es&tlng=)

Romero M., Colín A., Sánchez E y Ortiz M., (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Revista internacional de contaminación ambiental, 25(3), pág:157-167.

Sánchez M., Peón I., Cardona T., Ortega L y Urriolagoitia G., (2016). *Evaluación inicial de parámetros de campo en un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Colombiana de Biotecnología, 18(1), pág:173-184.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., (1995). American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation. Washington, DC, USA.

Torres P., (2012). *Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo*. Revista EIA, 9(18), pág:115-129.

Uribe A y Ramírez Y., (2016). *Evaluación de la viabilidad del uso de las bacterias Geobacter sulfurreducens y Pseudomonas fluorescens en interacción con las plantas acuáticas Eichhornia crassipes y Lemna minor para procesos de remoción de hierro y manganeso en humedales*.

Valderrama L., (1996). *Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, Limnobium laevigatum y Eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales*. Universitas Scientiarum, 3(1-2), pág:83-97.

Vargas K., (2018). *Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015*.

Vizcaíno L y Fuentes N., (2016). *Efectos de Eisenia foetida y Eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos*. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 19(1), pág:189-198. Recuperado el 11 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100022&lng=en&tlng=es.

ANEXOS

Anexo 1. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, **DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM**

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010



NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será referendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

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

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

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

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

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

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

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

Artículo 2°.- Definiciones

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

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

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

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

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

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

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

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

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

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

415676

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

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

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTES DE PTAR**

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

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL
N° 036-2010-MINAM**

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1