



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Eficiencia de un Tanque Imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana, Moyobamba

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTOR:

Bach. Ingry Margoth Vela Rios

ASESOR:

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna

Código N° 6051917

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Eficiencia de un Tanque Imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana, Moyobamba

AUTOR:

Bach. Ingrid Margoth Vela Rios

Sustentado y aprobado el 20 de septiembre del 2018, por los siguientes jurados

Ing. Dr. Yewin Francisco Azabache Liza

Presidente

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Secretario

Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález

Miembro

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna

Asesor

Declaratoria de autenticidad

Yo Ingrid Margoth Vela Rios, con DNI N° 45670403, egresado de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: Eficiencia de un tanque imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de habana, Moyobamba.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias que mi acción derive, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 20 de septiembre de 2018



Ingrid Margoth Vela Rios
DNI: 45670403



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	VELA RIOS INGRY MARGOTH		
Código de alumno :	105260	Teléfono:	923253520
Correo electrónico :	ingryver.09@gmail.com	DNI:	45670403

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	ECOLOGIA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	EFICIENCIA DE UN TANQUE IMHOFF-HA A ESCALA, PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS SERVIDAS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE HABANA, MOYOBAMBA
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

03 / 01 / 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres, Juana Rosa Rios Rioja y Edmundo Segundo Vela Barbarán, por ser los pilares más importantes en mi vida y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, sin importar los múltiples inconvenientes en todo el proceso de mi formación profesional. A mis hermanos Michael, Percy, Pilar, Italo y Julio por estar siempre conmigo en los momentos difíciles de mi vida. A Raúl Fernando Saucedo Quispe, por sus palabras de aliento, su comprensión y su ayuda incondicional en todo el proceso de investigación.

I.M.V.R.

Agradecimiento

Quiero agradecer principalmente a Dios por haberme guiado en el camino correcto hasta ahora.

A mis padres Juana Rosa Rios Rioja y Edmundo Segundo Vela Barbarán, por haberme dado su fuerza y tenacidad para conseguir las metas y objetivos trazados, sobre todo por creer en mí y en mis habilidades. A mis hermanos Michael, Percy, Pilar, Italo y Julio por su motivación y apoyo en el desarrollo de la tesis.

A Raul Fernando Saucedo Quispe por el gran apoyo durante el desarrollo de la tesis y tener una voz de aliento en los momentos difíciles.

Al Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna quien me brindó la disponibilidad de su tiempo y asesoría en la tesis con sus aportes, críticas y sugerencias.

A la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, por su misión de formación y crecimiento en nuestros conocimientos, formándonos como profesionales al servicio de la sociedad.

A la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, por permitirme el uso del laboratorio de Biología y Química para el desarrollo correcto de la tesis.

A la Municipalidad Distrital de Habana por brindarme el espacio para ejecutar la tesis.

Índice general

Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Introducción	1

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes de la investigación	3
1.2 Bases teóricas	5
1.2.1 Aguas residuales	5
1.2.2 Origen y procedencia de los efluentes	6
1.2.3 Tipos de agua residual	6
1.2.4 Composición de las aguas residuales	7
1.2.5 Características de las aguas residuales	8
1.2.6 Tanque imhoff	12
1.2.7 Humedal artificial	14
1.3 Definición de términos	25

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material	27
2.1.1 Material para construcción del Tanque Imhoff	27
2.1.2 Material para construcción del Humedal Artificial	27
2.1.3 Material para la recolección de muestras	28
2.1.4 Material para el trabajo en gabinete	28
2.1.5 Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos	28
2.2 Métodos	29

2.2.1 Descripción de la metodología de construcción del tanque imhoff	29
2.2.2 Descripción de la metodología de construcción del humedal artificial	30
2.2.3 Descripción del proceso de muestreo	31
2.2.4 Descripción de la metodología usada en el laboratorio	33
2.2.5 Descripción de la metodología usada para el procesamiento y análisis de datos	36

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados.....	38
3.1.1 Dimensionamiento del sistema integrado por un tanque imhoff y humedal artificial	38
3.1.2 Determinación de parámetros del agua residual municipal.....	46
3.1.3 Eficiencia en remoción de los parámetros de todo el sistema	57
3.1.4 Comparación de los resultados obtenidos con los LMP o ECA's.....	62
3.2 Discusión	74

CONCLUSIONES	77
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	78
------------------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
---	----

ANEXOS	83
---------------------	----

Índice de tablas

Tabla 1	Tipos de aguas residuales	6
Tabla 2	Composición usual del agua residual cruda	8
Tabla 3	Población estimada al 30 junio,2012-2015	38
Tabla 4	Tasa de crecimiento poblacional del distrito de Habana	38
Tabla 5	Factores de capacidad relativa y tiempo de digestión de lodos.....	40
Tabla 6	Dimensiones del diseño del tanque imhoff a escala.....	42
Tabla 7	Características medias del sustrato en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HASSH).....	44
Tabla 8	Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 01	47
Tabla 9	Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 02	47
Tabla 10	Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 03.....	48
Tabla 11	Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 04.....	48
Tabla 12	Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 05	49
Tabla 13	Porcentajes de remoción de los parámetros en todo el período de muestreo evaluado para el efluente final (efluente2).....	57
Tabla 14	Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a turbidez	70
Tabla 15	Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a sólidos totales en suspensión (SST)	71
Tabla 16	Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a fosfatos.....	72
Tabla 17	Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	73

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de un tanque imhoff.....	13
Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.....	15
Figura 3. Humedales artificiales de flujo superficial.....	16
Figura 4. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HASSH)	18
Figura 5. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (HASSV)	19
Figura 6. <i>Phragmites australis</i> (carrizo)	24
Figura 7. Esquema del tratamiento de aguas residuales y puntos donde se realiza la toma de muestras.....	32
Figura 8. Dimensionamiento del área de ventilación y la cámara de natas.....	42
Figura 9. Variación de pH	50
Figura 10. Variación temperatura.....	51
Figura 11. Variación de turbidez.....	52
Figura 12. Variación de sólidos totales en suspensión.....	53
Figura 13. Variación de nitratos.....	54
Figura 14. Variación de fosfatos.....	55
Figura 15. Variación de DBO ₅	56
Figura 16. Porcentaje de remoción de turbidez	58
Figura 17. Porcentaje de remoción de sólidos totales en suspensión	59
Figura 18. Porcentaje de remoción de nitratos	60
Figura 19. Porcentaje de remoción de fosfatos	61
Figura 20. Porcentaje de remoción de DBO ₅	62
Figura 21. Comparación de valores finales del pH con D.S. N° 003-2010-MINAM ...	63
Figura 22. Comparación de valores finales de temperatura con D.S. N° 003-2010- MINAM	64
Figura 23. Comparación de los valores finales de turbidez con D.S. N°004-2017- MINAM	65
Figura 24. Comparación de valores finales de sólidos totales en suspensión con D.S. N° 003-2010-MINAM	66
Figura 25. Comparación de los valores finales de nitratos con D.S. N°004-2017- MINAM	67

Figura 26. Comparación de los valores finales de fosfatos con D.S. N°002-2008-MINAM	68
Figura 27. Comparación de valores finales de la demanda bioquímica de oxígeno con D.S. N° 003-2010-MINAM	69

Resumen

La presente tesis se planteó con la finalidad de comprobar la eficiencia de un tanque imhoff-HA como parte del mejoramiento del tratamiento de las aguas servidas municipales, en este caso del distrito de Habana. Para lo cual se implementó dos unidades experimentales; la primera unidad fue de un tanque imhoff con 1.48 m de largo, 1.13 m de ancho y 1.02 m de profundidad y la segunda unidad de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con 1.83 m de largo, 0.77 m de ancho, 0.57 de profundidad y pendiente de 1%, sembrada con *Phragmites australis* (carrizo), se utilizó grava de 5.0 cm de diámetro como medio granular del humedal. El estudio se empezó en campo, con la construcción de las unidades experimentales; operación, monitoreo, localización y toma de muestras al ingreso del agua residual de tanque imhoff (afluente), ingreso al humedal artificial (efluente 1) y salida del agua residual del humedal artificial (efluente 2), para pasar posteriormente a una etapa de análisis de los parámetros tanto en el laboratorio (nitratos, fosfatos y DBO₅) como en el lugar donde se encontraban las unidades experimentales (pH, turbiedad, sólidos totales en suspensión, temperatura). Se reportó una remoción promedio final de 84.14% para turbidez, 94.82% para sólidos en suspensión, 35.78% para nitratos, 65.57% para fosfatos y 93.99% para DBO₅. Con los resultados obtenidos se demostraron que trabajando con un sistema integrado de tanque imhoff y humedal artificial, removieron significativamente la concentración de los parámetros evaluados, pues sus valores están dentro de los rangos de Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, asimismo se tomó como referencia para parámetros como turbidez, nitratos y fosfatos los estándares de calidad ambiental (ECA's). Finalmente, debido a la remoción significativa y bajos costos de operación y mantenimiento, el sistema integrado por tanque imhoff y humedal artificial podría ser utilizado en zonas rurales que carezcan de alcantarillado público.

Palabras clave: Plantas de tratamiento, aguas residuales, tratamiento de aguas residuales, nitratos, fosfatos, humedales, uso de aguas residuales.

Abstract

The following thesis was raised in order to verify the efficiency of an imhoff-HA tank as part of the improvement of municipal wastewater treatment, in this case the district of Havana. For which two experimental units were implemented; the first unit was an imhoff tank with 1.48 m long, 1.13 m wide and 1.02 m deep and the second unit of an artificial wetland with horizontal subsurface flow 1.83 m long, 0.77 m wide, 0.57 deep and slope of 1%, seeded with *Phragmites australis* (reed), 5.0 cm diameter gravel was used as the granular medium of the wetland. The study was started in the field, with the construction of the experimental units; operation, monitoring, location and sampling at the entrance of the residual water from the imhoff tank (tributary), entry to the artificial wetland (effluent 1) and exit of the residual water from the artificial wetland (effluent 2), to later pass to an analysis stage of the parameters both in the laboratory (nitrates, phosphates and BOD5) and in the place where the experimental units were located (pH, turbidity, total suspended solids, temperature). A final average removal of 84.14% was reported for turbidity, 94.82% for suspended solids, 35.78% for nitrates, 65.57% for phosphates and 93.99% for BOD5. With the results obtained it was demonstrated that working with an integrated system of imhoff tank and artificial wetland, they significantly removed the concentration of the evaluated parameters, since their values are within the ranges of Maximum Permissible Limits (LMP) established for the effluents of plants of treatment of domestic or municipal wastewater, also standards for environmental quality (ECA's) were taken as reference for parameters such as turbidity, nitrates and phosphates. Finally, due to the significant removal and low operation and maintenance costs, the system integrated by imhoff tank and artificial wetland could be used in rural areas that lack public sewage.

Keywords: Treatment plants, wastewater, wastewater treatment, nitrates, phosphates, wetlands, wastewater use.



Introducción

Las aguas residuales en muchos países son un problema ambiental puesto que contaminan de una manera irracional los ecosistemas en donde son vertidas, lagos, lagunas, ríos, manglares, costas, entre otros, los principales afectados son los animales y plantas que habitan en estos ecosistemas pero los humanos también resultamos seriamente afectados ya que muchos de estos lugares son una fuente de agua dulce o simplemente por estar ubicados cerca de poblaciones resultan una fuente de infección y contaminación para los habitantes aledaños. En la ciudad de Moyobamba, actualmente el cuerpo receptor principal de las aguas residuales es el Río Mayo y adicionalmente existen 7 receptores secundarios que son los barrancos adyacentes a las cámaras sépticas. No existe una planta de tratamiento de sus aguas servidas y éstos van directamente hacia el cuerpo receptor (Río Mayo). Del mismo modo, el distrito de Habana, cuenta con una PTAR que ya cumplió su vida útil de manera tal que ha colapsado, y actualmente las aguas servidas van hacia una quebrada. Esta situación ocasiona la vulnerabilidad la de población a sufrir los efectos de la falta de tratamiento de las aguas residuales, efectos descritos anteriormente y de los cuales existen antecedentes muy similares. Estas consideraciones tomadas en cuenta para el estudio realizado nos permitió plantear la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficiencia de un Tanque Imhoff-HA para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana? Dentro de la investigación se planteó como hipótesis principal si el sistema asociado de Tanque Imhoff y Humedal Artificial mejorará la remoción de los parámetros del agua residual.

Este estudio e interés de investigación se realizó con el fin de tratar las aguas residuales para defender la salud pública y el medio ambiente. Si las aguas residuales no son tratadas y se vierten directamente a los ríos, es bastante probable introducir elementos de contaminación que acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno ambiental y enfermedades de salud pública en las personas y comunidades que entren en contacto con esas aguas contaminadas. En algunas actividades humanas que necesitan el consumo de agua, no requieren que sea agua potable, hablamos por ejemplo del riego de zonas verdes o el agua utilizada para actividades agrícolas. Considerando que el distrito de Habana tiene como prioridad el de seguir apoyando el crecimiento económico de su localidad, y cerrar brechas existentes entre ellas, se propuso elaborar un tanque imhoff – HA a escala, con el objetivo de evaluar sus efluentes y mejorar la calidad de las aguas de la localidad. El impacto a concretarse en nuestra investigación ha sido de manera que esta propuesta llegue a la localidad de Habana para mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, además de crear

conciencia entre la población de la zona, dándole la debida importancia al tema de la contaminación del agua.

Dentro de nuestro estudio de investigación, la evaluación experimental de los límites máximos permisibles (LMP) se ha visto limitado por la ausencia de algunos parámetros evaluados en la investigación, puesto que acordes al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales no están registrados algunos de ellos, teniendo que buscar nuevas fuentes de información tomando sólo como referencia a los estándares de calidad ambiental (ECA's) en aguas residuales para dar validez de los resultados obtenidos.

La presente tesis tiene como objetivo general: Determinar la eficiencia de un tanque imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana, Moyobamba. Y como objetivos específicos: Diseñar un tanque imhoff – HA a escala como sistema de depuración de las aguas residuales. Determinar los parámetros (pH, turbiedad, sólidos totales en suspensión, temperatura, nitratos, fosfatos y DBO₅) en el afluente y en la salida de cada componente. Comparar los parámetros analizados en el tanque imhoff – HA con los LMP y ECA's.

En el primer capítulo se señalan los antecedentes de la investigación, las bases teóricas de todo lo referente a aguas residuales, el proceso de un tanque imhoff y un humedal artificial, los diferentes tipos de humedales diseñados para el tratamiento de las aguas residuales.

En el segundo capítulo se ha considerado el material y la metodología de la investigación donde se justifica la parte más importante del experimento, realizando los cálculos para el diseño del tanque imhoff y humedal artificial a escala piloto; resumiéndose en la caracterización del agua servida del distrito de Habana y los análisis de las concentraciones de los parámetros realizados en el laboratorio.

En el tercer capítulo se detallan los resultados y la discusión obtenidos en el estudio a través de tablas y gráficos para su mejor interpretación, destacándose aspectos importantes que contribuyeron a dar respuesta al problema y a los objetivos del proyecto, para llegar finalmente a las conclusiones y recomendaciones que se pudieron obtener de la presente investigación ejecutada.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Badillo et al. (2016), concluye que, respecto a las plantas y suelos empleados para la construcción del humedal, sus propiedades ayudaron en la remoción de contaminantes en el momento del filtrado del agua residual, evidenciando un cambio positivo en los diferentes parámetros evaluados; los resultados de cantidad de nitrógeno como nitrato no variaron en el humedal que no contenía los EM (11,0mg/l) en comparación con la muestra inicial, mientras que el humedal con EM (0,002mg/l) disminuyó debido a que el cultivo mixto de microorganismos es capaz de reducir amonio, nitritos y nitratos en el agua residual. Por otro lado, lograron una disminución de la turbiedad en el agua tratada obteniendo valores de 6,11 UTN y 11,2 UTN, esto se debe a que las capas del suelo son capaces de retener los sólidos disueltos y suspendidos presentes en el efluente, mejorando la transparencia del mismo.

Romero et al. (2009), concluye que, con respecto al fósforo total, los resultados indican una baja eficiencia del sistema, independientemente de la temporada de monitoreo. La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. La adición de arcilla expandida y de óxidos de hierro y aluminio al sustrato puede ser prometedora para la eliminación más efectiva de fósforo.

Chuchón y Aybar (2005), concluye que el porcentaje de remoción de la DBO₅ de la PTAR “La Totorá” fue del 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.5947%.

Lapa (2014), ha determinado los parámetros físico químico y microbiológico del agua residual en el laboratorio especializado, los contaminantes de aguas residuales en el efluente, como resultado se ha obtenido en DBO₅ de 14.86 mg/l, en SST de 66.80 mg/l, estos resultados se ha evaluado en función de las normas nacionales - D.S. N° 002 - 2008 - MINAM (límites máximos permisibles) sin embargo, la norma indica que los

LPM en DBO₅ es 15mg/l, en SST es de 150 mg/l, lo cual se ha corroborado con el resultado y LMP llegando a la aceptación de estos resultados según la norma nacional. Se ha diseñado el sistema de humedal artificial de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales, lo cual contiene tratamientos preliminares (cámara de rejillas y desarenador), tratamiento primario (tanque Imhoff), tratamiento secundario (humedal artificial) y un lecho de secado.

Medina y López (2013), concluyen que los efluentes que salen del Humedal Artificial tiene una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual doméstica tratada varía entre 4,5 y 15 UTN, la DBO₅ varía entre 161 y 97 mg/l y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/l.

Flores (2014), concluye que los análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual, durante los cuatro meses que se realizó la investigación, están por debajo de los valores establecidos en los LMP según norma peruana, por tanto, estos sistema pueden ser aplicados como unidades avanzadas de tratamiento de pequeñas ciudades, siempre teniendo en consideración el dimensionamiento hidráulico y especificaciones técnicas.

Montalván y López (2017), concluyen que los humedales artificiales de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) al tercer mes de caracterizadas obtuvieron una eficiencia de remoción en: coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90, 47%, DQO de 64,98% y DBO₅ de 66,96%, alcanzando una eficiencia del 64% al 90% en todos sus parámetros caracterizados.

Juarez (2017), concluye que la caracterización de los parámetros fisicoquímicos presentaron variaciones en afluente y efluente, obteniéndose resultados como la disminución de la concentración en 03 parámetros, con valores de 151,7 mg/l en DQO, 129,0 mg/l en DBO₅ y 1 220,3 ppm en Sólidos totales disueltos; con ligero incremento en 05 parámetros con valores de 27,2 °C en Temperatura, 7,6 unidades de pH, 3,3 ppm en oxígeno disuelto, 1,9 ppm en nitratos y 25,9 ppm en fosfatos, comparando finalmente que la concentración de parámetros obtenidos están por debajo de los valores máximos admisibles (VMA).

1.2. Base teórica

1.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales domésticas son aguas procedentes de las viviendas, oficinas y edificios comerciales que se conducen en forma combinada en alcantarillas subterráneas a una laguna de estabilización que generalmente están alejadas de la ciudad. Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua, se llama también aguas residuales o aguas negras. Son residuales pues habiendo sido usadas. Constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo son negras por el color que, algunos autores hacen una diferencia aguas servidas y las aguas residuales en el sentido que las primeras provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de las aguas domesticas e industriales, en todo caso están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado, sin previo tratamiento posterior a su uso (Palacios, 1991).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población después, de haber sido modificada por diversos usos en actividades domésticas, industriales comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado (Rolim, 2000).

Las aguas residuales domésticas se pueden incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domesticas con las aguas de drenaje pluvial, aguas residuales de origen industrial, siempre que están cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Tchobanoglous, 1996).

Las aguas residuales domésticas se originan principalmente en las habitaciones, instalaciones sanitarias, lavado de utensilios domésticos, grifos de baño lavado de ropa y otros usos domiciliarios. El volumen generado está en función del nivel de educación y de las costumbres de los habitantes de las ciudades. Las aguas residuales domesticas son el producto de viviendas que poseen un sistema de abastecimiento de aguas interconectadas a una red de alcantarillado en la que se vierte todas las aguas servidas de la vivienda como baño, cocina, etc. (Sáenz, 2005).

1.2.2. Origen y procedencia de los efluentes

De acuerdo con su origen, los suministros de agua se clasifican en tres categorías: (1) aguas superficiales, (2) aguas subterráneas y (3) aguas meteorológicas. Las aguas superficiales comprenden los cauces (ríos), océanos, lagos y aguas embalsadas. Los cauces de agua sometidos a contaminación presentan una calidad variable a lo largo del curso del cauce. Las aguas de los lagos y pantanos o embalses, por otro lado, tienen una calidad relativamente uniforme. Las aguas subterráneas muestran en general menor turbidez que las aguas superficiales. En cuanto a las aguas de lluvia, son de mucha mayor pureza física y química que las aguas superficiales o subterráneas (Ramalho, 1996).

1.2.3. Tipos de agua residual

Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1
Tipos de aguas residuales

Tipos de agua	Definición	Características
Agua residual doméstica	Producidas en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual municipal	Son transportados por el alcantarillado de una ciudad o población	Contiene materia orgánica, nutrientes y patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria Y/o procesos industriales
Agua negra	Contiene orina y heces	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos
Agua amarilla	Es la orina transportada con o sin agua	Alto contenido de nutrientes, hormonas y alta concentración de sales.
Agua café	Agua con pequeña cantidad de heces y orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tienen pocos nutrientes y agentes patógenos, por el contrario presentan máxima carga de productos y detergentes.

Fuente: (Romero, 2000)

1.2.4. Composición de las aguas residuales

Es importante recordar que siempre ocurrirán variaciones significativas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, dependiendo de la dimensión del sistema, del tipo de aguas residuales y del diámetro de inclinación de los interceptores y tipos de contribuyentes de aguas residuales, las cargas orgánicas diarias para las diversas plantas de tratamiento de aguas residuales se estima usando datos horarios. Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9% y un 0.1% de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas sales y metales, siendo este 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento en las PTARs. La composición del agua residual está en función del uso, esta depende tanto de las características sociales y económicas de la población así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras. La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población, la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente. Las aguas residuales constituyen básicamente en; agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son una fracción más pequeña (representan menos del 0.1% en peso), pero representa el mayor problema a nivel de tratamiento. El agua provee solo volumen y el transporte de sólidos (Palacios, 1991).

Tabla 2
Composición usual del agua residual cruda

Contaminantes	Unidad	Intervalo	Valor típico
Sólidos totales	mg/l	350-1200	700
Sólidos suspendidos totales	mg/l	100-350	210
Sólidos sedimentables	mg/l	may-20	10
Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días	mg/l	110-400	210
Demanda química de oxígeno	mg/l	250 - 1000	500
Nitrógeno total	mg/l	20 – 85	35
Amoníaco libre	mg/l	12 – 50	22
Nitritos	mg/l	0 – 0	0
Nitratos	mg/l	0 – 0	0
Fósforo total	mg/l	abr-15	7
Cloruros	mg/l	30-100	50
Sulfatos	mg/l	20-50	30
Grasas y aceites	mg/l	50-150	90
Coliformes totales	NMP	106 -109	107 -108
Coliformes fecales	NMP	103 -107	104 -105

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000)

1.2.5. Características de las aguas residuales

1.2.5.1. Contaminantes del agua residual

Cada persona genera 1.8 litros de material fecal diariamente, correspondiendo a 113.5 gramos de sólidos secos, incluidos 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, más otros nutrientes, principalmente fosforo y potasio (Mara y Cairncross, 1990).

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales. Por las razones anteriores han desarrollado una serie de métodos empíricos para evaluación de la concentración de contaminantes en aguas, cuya aplicación no requiere un conocimiento completo de la composición química específica de las aguas residuales consideradas. Las aguas residuales domesticas se componen fundamentalmente en, su carga contaminante, de

materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión (Ramalho, 1996).

a. Características físicas:

Potencial de hidrógeno (pH)

Origina cambios en la fauna y la flora de los cuerpos de agua. Ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc. (Fair, y otros, 1988).

Temperatura

Las variaciones de temperatura afectan reacciones químicas y actividades biológicas, generando cambios en el medio, en el desarrollo de la biota presente en él, además de disminución en la concentración de oxígeno disuelto (Fair, y otros, 1988).

Sólidos suspendidos

Partículas de pequeño tamaño y de naturaleza y procedencia muy variadas. Aproximadamente el 60% de los sólidos en suspensión son sedimentables y un 75% son de naturaleza orgánica. Las diferentes formas de sólidos indican la presencia de sales disueltas, partículas en suspensión de carácter orgánico o inorgánico. Los sólidos pueden tener relación directa con otros parámetros físicos (turbiedad y color) o químicos (DQO y la DBO₅) (Fair, y otros, 1988).

Los sólidos en suspensión, SS es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación (Rigola, 1990).

b. Características químicas:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días. Parámetro de mayor significación cuando se trata de determinar la carga contaminante que pueden generar los desechos

domésticos. Es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) que requieren los microorganismos para descomponer (oxidar) los componentes orgánicos de las aguas residuales. Normalmente se determina la demanda a los cinco días y 20°C donde se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables (Ferrero, 1974).

Demanda química de oxígeno (DQO)

La prueba de Demanda Química de Oxígeno es muy usada para medir la carga contaminante de los desechos domésticos e industriales. Mediante esta prueba se puede medir un desecho en términos de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar completamente la materia orgánica del desecho a CO₂, agua y amoníaco (Ferrero, 1974).

Aceites y grasas

Las aguas residuales provenientes de restaurantes, lavanderías y estaciones de servicios contienen por lo general cantidades considerables de grasas, aceites y detergentes. Al permitir el ingreso de tales elementos al interior de los tanques sépticos, existe la posibilidad de que sean descargados junto con el efluente del tanque en los sistemas de disposición sobre el suelo, o a las subsiguientes unidades del sistema de tratamiento. Las grasas y aceites, junto con los sólidos suspendidos, tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. Además, ocasionan graves problemas debido a su persistencia. La concentración típica de grasas y aceites presentes en aguas residuales de restaurantes puede tomar valores que van desde 1000 hasta 2000 mg/l, o más. Para evitar los problemas ocasionados por su presencia, tanto en unidades de sistemas de centralizados de tratamiento como en sistemas de disposición, la concentración de grasas y aceites en el efluente de estos sistemas debe ser menor a 30 mg/l. en presencia de grandes cantidades de grasas y aceites en plantas centralizadas de tratamiento de aguas residuales, se acostumbra emplear un sistema que combina la remoción de arenas por aireación y la remoción de espuma o natas por barrido superficial (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Nitrógeno

En las aguas residuales, la forma predominante del nitrógeno es el nitrógeno orgánico que se descompone en nitrógeno amoniacal y se transforma en nitritos y nitratos por acción de bacterias aerobias, los nitrosomas y los nitrobacter (Hernández et al., 1996). Si existe un predominio de nitratos este es un indicador de la estabilización de las aguas residuales con respecto a la demanda de oxígeno. Los nitratos al ser utilizados como nutrientes por algas y otros microorganismos, se pueden remover para prevenir o evitar el crecimiento de estas plantas (Romero, 2008).

Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de microorganismos de las aguas y en consecuencia para el proceso de depuración biológica. En las aguas residuales el contenido de fósforo se debe por una parte a los vertidos urbanos (detergentes, productos de limpieza, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (fertilizantes, pesticidas, etc.) (Hernández et al., 1996).

La descarga de fosfatos en fuentes receptoras estimula el crecimiento de organismos fotosintéticos, que pueden causar eutrofización de las agua. El fósforo generalmente se encuentra en formas usuales como ortofosfato (PO_4^{-3}), polifosfatos y fosfatos orgánicos. La suma de los tres tipos de fósforo se considera como el contenido total de fósforo (P-total), que es un parámetro importante a considerar en las operaciones de las plantas de tratamiento de aguas (Romero, 2013).

c. Características biológicas:

Coliformes totales

Son microorganismos patógenos que son usualmente excretados del tracto gastrointestinal humano y animal, es decir, su presencia es sinónimo de materia fecal (Lin, 2007).

Coliformes fecales

Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que estos se encuentran siempre presentes en las heces humanas y animales (Centro de las Nuevas Tecnologías del agua, 2014).

1.2.6. Tanque imhoff

El tanque imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara (Organización panamericana de la salud, 2005).

Los tanques imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado remoción de arena.

El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

Cámara de sedimentación.

Cámara de digestión de lodos.

Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación (Organización panamericana de la salud, 2005).

Ventajas:

Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.

No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.

El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.

Las aguas servidas que se introducen en los tanques imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.

El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.

Tiene un bajo costo de construcción y operación.

Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.

Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes (Organización panamericana de la salud, 2005).

Desventajas

Son estructuras profundas (>6m).

Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.

El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.

En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto (Organización panamericana de la salud, 2005).

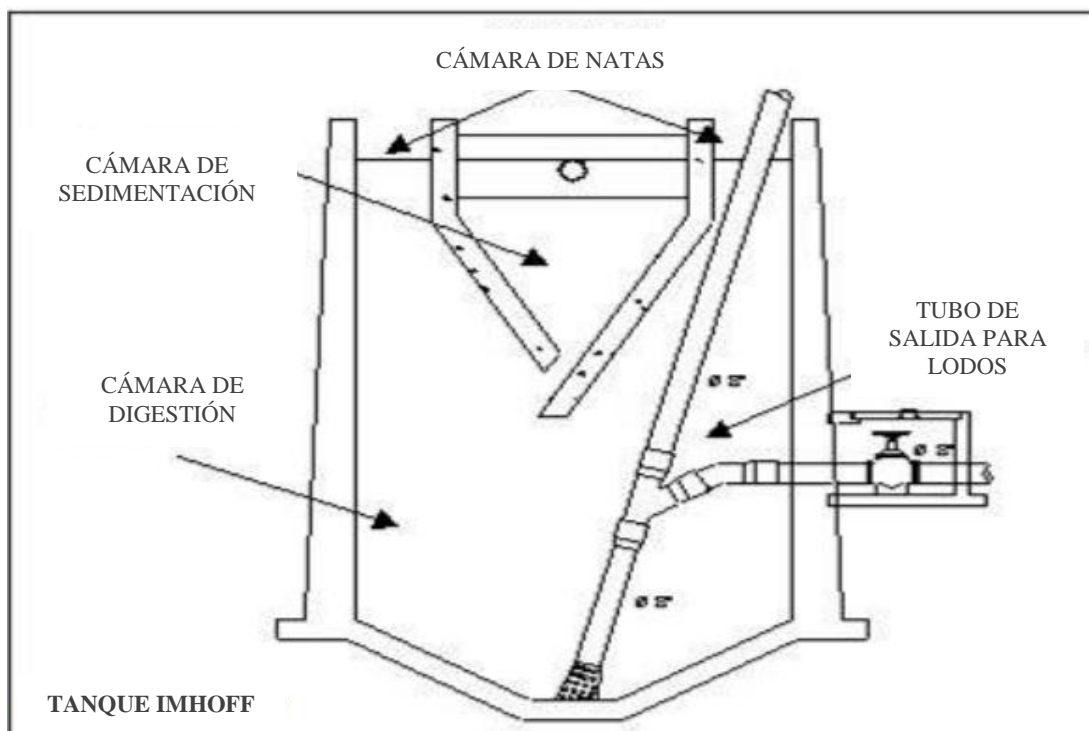


Figura 1. Esquema de un tanque imhoff. (Fuente: Organización panamericana de la salud, 2005).

1.2.7. Humedal artificial

Entre las distintas tecnologías no convencionales existentes, los humedales artificiales son los que están experimentando un mayor grado de desarrollo e implantación, resultando una opción viable a la hora de obtener agua con una mejor calidad, debido principalmente a su elevada eficiencia en la disminución de materia orgánica, nutrientes y patógenos, reduciéndose los posibles efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores (Llagas y Guadalupe, 2006).

Los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial autodepurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie (Llagas y Guadalupe, 2006).

Sistema de fitodepuración de aguas residuales de profundidad variable (0.5 - 1.7cm) construido por el hombre. Consiste en la construcción de un humedal o pantano donde se desarrolla un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de sustrato (grava, arena o piedra) impermeabilizado, que se encuentra alimentado por el agua residual a tratar (Osnaya, 2012).

Los procesos llevados a cabo en el humedal por la acción conjunta de las macrófitas, el sustrato y los microorganismos propios del agua residual remueven los contaminantes presentes en ella, como los sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nutrientes, metales y patógenos. Así, su funcionamiento se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno a las especies vegetales durante el día y el apoyo físico del lecho inerte como soporte para el enraizamiento de las especies vegetales, además de servir como un medio filtrante (Delgadillo et al., 2010).

1.2.7.1. Funciones de los humedales artificiales

Fijar físicamente los contaminantes insolubles en la superficie del sustrato.

Utilizar y transformar los elementos contaminantes por medio de los microorganismos y de la biomasa vegetal.

Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y de mantenimiento (Lara, 1999).

1.2.7.2. Tipos de humedales artificiales

Existen dos tipos de humedales diseñados para el tratamiento de aguas residuales, humedales de flujo subsuperficial (SFS) y superficial (SF). En el denominado de flujo superficial, el agua circula por sobre la superficie del sustrato y, en el de flujo subsuperficial, el agua circula a nivel de la superficie del lecho o por debajo del sustrato (Llagas y Guadalupe, 2006).



Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófita. (Fuente: Delgadillo et al., 2010).

a. Humedales artificiales de flujo superficial (HAFS)

Son sistemas de tratamiento secundario o avanzado en los cuales el agua residual se encuentra en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal de oxígeno para la aireación, por lo que, predominan las zonas aeróbicas que favorecen los mecanismos de remoción de contaminantes (Villarreal, 2005).

Consisten en lagunas o canales de profundidad variable (0.40 - 1.58 m), con alguna clase de barrera subterránea que impermeabilizará la base para evitar la infiltración del

agua residual, presencia de un sustrato que sirva de soporte para la vegetación emergente (flotante o parcialmente sumergida) y un afluyente (agua residual pretratada) con una profundidad relativamente baja (0.1 - 0.6 m) que atraviesa la unidad (Miglio, 2003).

Este afluyente es alimentado mediante un flujo horizontal continuo y el tratamiento se produce mediante su circulación a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente (Lara, 1999).

Según la vegetación común para este tipo de humedales incluye carrizos, juncos, totora, juncias, jacinto de agua y lenteja de agua. Esta clase de sistemas se pueden diseñar con el objetivo de creación de nuevos hábitats para la fauna y flora, o para mejorar las condiciones de terrenos pantanosos naturales. Se reportan porcentajes de remoción relativamente alto para diferentes contaminantes (Osnaya, 2012).

De esta manera, se reporta valores de remoción como: 96% para sólidos suspendidos totales (SST), 96% para demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), 87% para demanda química de oxígeno (DQO), 40% para nitrógeno total (N-total) y 30% para fósforo total (P-total) (Osnaya, 2012).

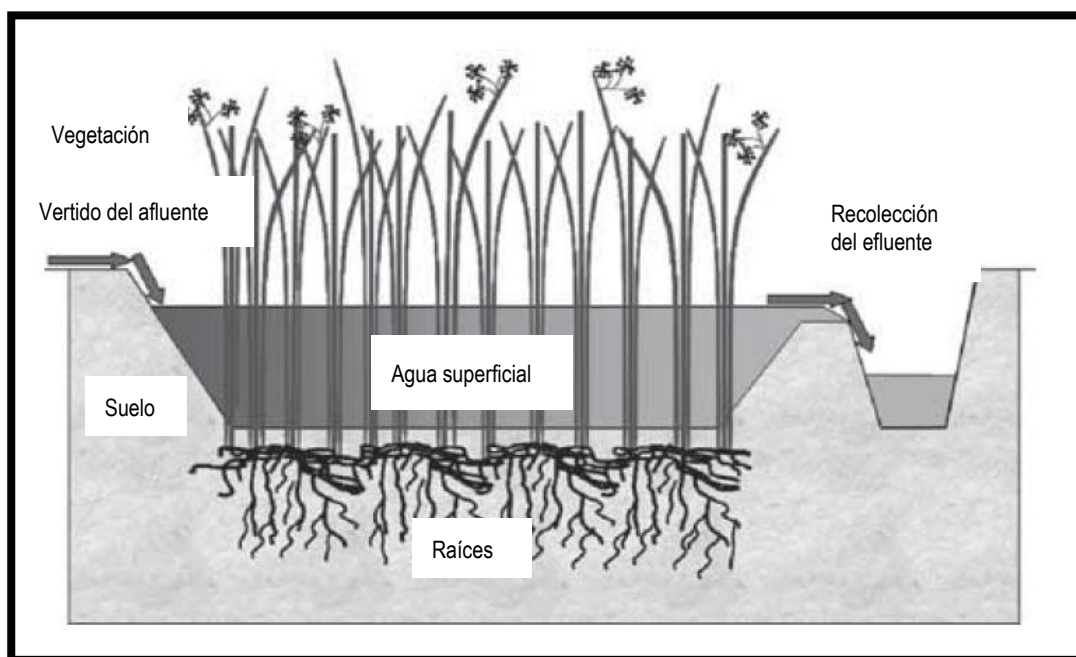


Figura 3. Humedales Artificiales de Flujo Superficial. (Fuente: Delgadillo et al., 2010).

b. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH)

Son los sistemas más conocidos y utilizados. Se desarrollaron por primera vez en Alemania, en la década del 60', por el profesor Kickuth de la Universidad de Kassel. Consisten en zanjas excavadas o canales que se diseñan con el objetivo de proporcionar tratamiento secundario y terciario a las aguas residuales. Estas zanjas se construyen con una ligera pendiente entre la entrada y la salida (0.5 - 1 %) para que se garantice un flujo de agua constante y tienen una profundidad que varía entre 0.45 a 1 m (Delgadillo et al., 2010).

Son impermeabilizadas, luego rellenas con un material granular poroso, denominado sustrato, que sirve de soporte para la vegetación emergente, y a través del cual circula el agua residual pre-tratada (afluente), manteniendo su nivel por debajo de la superficie del sustrato (García y Corzo, 2008).

El afluente se encuentra entre 0.05 a 0.1 m por debajo de la superficie del sustrato, esto se logra regulando el nivel de la tubería de salida del efluente tratado. El afluente ingresa en forma permanente por la parte superior del lado lateral del humedal y el efluente tratado es recogido por un tubo de drenaje, ubicado en la parte opuesta inferior. Es importante considerar que el afluente no ingresa directamente al sustrato principal (cuerpo del humedal), sino que lo realiza a través de una zona de amortiguamiento, compuesta generalmente por grava de mayor tamaño, por la cual el flujo se distribuye uniformemente por todo el lecho. De igual forma, el tubo de drenaje es rodeado por grava del mismo tamaño que la utilizada al inicio, según su diámetro varía entre 50 a 100 mm. Se mantiene un flujo horizontal constante del afluente, que es tratado a medida que atraviesa el sustrato poroso, las raíces y rizomas de las plantas por procesos de filtración y absorción por acción de las plantas; filtración, sedimentación y adsorción en el sustrato, y por último, degradación microbiológica (Delgadillo et al., 2010).

Se reportan eficiencias de remoción: 80-90% para DBO₅, 80-95% para SST y 15-40% para N-total. Además, menciona que la eficiencia de remoción de fósforo depende de las propiedades del sustrato, longitud del humedal y tiempo de retención (Hoffman et al., 2011).

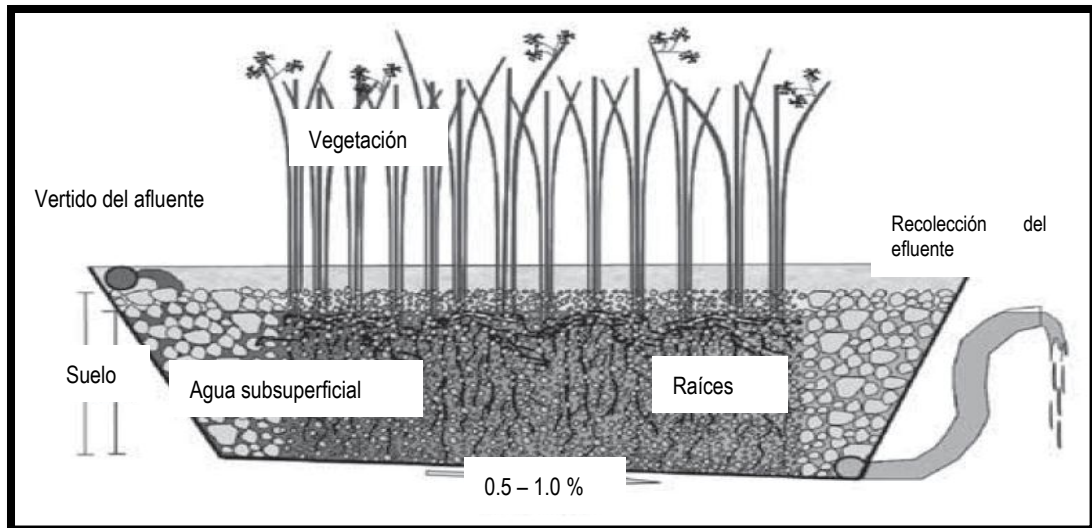


Figura 4. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal. (Fuente: Delgadillo et al., 2010).

c. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (HAFSSV)

Estos sistemas se caracterizan por tener un flujo de ingreso vertical e intermitente. Consisten en zanjas o lechos que se encuentran rellenos por un sustrato de profundidad entre 0.5 a 0.8 m y de tipo heterogéneo, ya que, se disponen en tres capas horizontales de distinta granulometría que se incrementa con la profundidad del lecho. La capa más superficial es de arena gruesa, la intermedia de grava y la del fondo de grava gruesa, de manera que, el paso del afluente por el lecho no sea excesivamente rápido ni lento. En este sustrato se siembra la especie vegetal emergente. El afluente ingresa mediante un flujo vertical descendente (de arriba hacia abajo) a través de un sistema de tuberías dispuestas sobre la superficie en forma radial o a lo largo del lecho. El afluente se infiltra a través del sustrato, distribuyéndose mejor en toda la altura del sustrato y mejorándose el contacto del afluente con las raíces de las plantas. Y el efluente tratado se recoge mediante redes de tuberías perforadas situadas en el fondo y a lo largo del lecho. La aplicación del afluente se efectúa de forma intermitente para preservar y estimular al máximo las condiciones aeróbicas, adicionalmente, se suele colocar tuberías de aireación con salida al exterior para mejorar las condiciones aeróbicas en el sustrato, y así favorecer los procesos de degradación aeróbica y la nitrificación (García y Corzo, 2008).

Los sistemas de flujo vertical tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales y requieren una menor superficie para tratar determinada carga orgánica. Sin embargo, son más susceptibles a la colmatación (Sánchez, 2011).

Este tipo de humedal no ha sido muy investigado, sin embargo, se reporta eficiencias de remoción de: 90-99% para DBO₅, 90-99% para SST, 40-60% para el N-total. Al igual que los HAFSSH, la eficiencia de remoción de fósforo dependerá de las propiedades del sustrato, longitud del humedal y el tiempo de retención (Hoffman et al., 2011).

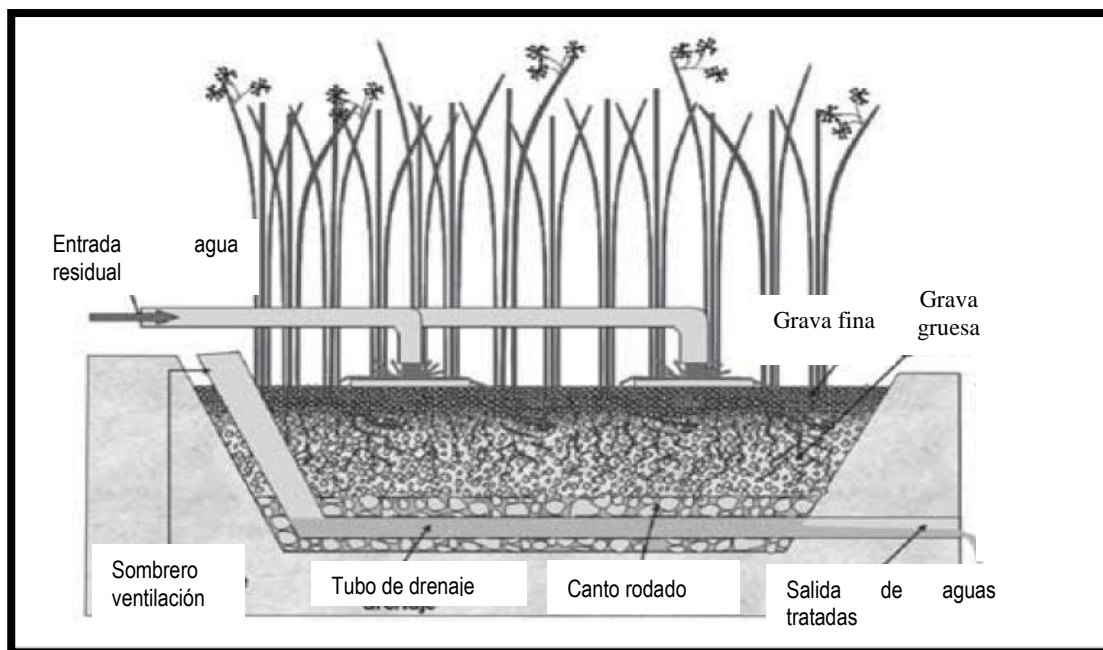


Figura 5. Humedales Artificiales de Flujo Subssuperficial Vertical. (Fuente: Delgadillo et al., 2010).

1.2.7.3. Componentes de los humedales artificiales

De manera general la composición de un humedal es agua, vegetación, medio filtrante y microorganismos, además de condiciones ambientales como luz solar y temperatura. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección.

Agua

Es uno de los factores más importantes ya que de él depende el éxito o el fracaso de un humedal artificial; en la columna de agua ocurren diferentes procesos mediante los cuales los microorganismos transforman la materia orgánica contenida en el agua residual. Pequeños cambios en la hidrología, pueden tener bastante significado en un humedal artificial y su eficiencia de tratamiento; es así como debido a la gran superficie de agua y a la poca profundidad un sistema de humedales artificiales interactúa

fuertemente con la atmósfera a través de la precipitación y la evapotranspiración, lo cual puede reducir o aumentar el tiempo de retención hidráulico, variar la carga orgánica, y en general modificar las condiciones para las cuales se había diseñado el sistema (Agencia de protección ambiental, 2000).

Sustrato

El sustrato puede estar conformado por arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumula en el humedal. Su característica principal es tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso de agua a través de él. Lo que obliga a utilizar materiales de tipo granular, principalmente la grava con un diámetro de aproximadamente 5 mm y poros finos. Entre sus funciones más importantes se presentan:

Actúan como barrera primaria de filtración.

Sirve como soporte para el crecimiento de la vegetación y colonias microorganismos (biopelícula) que biodegradan la materia orgánica.

Ayuda a eliminar ciertas sustancias mediante interacciones físicas y químicas.

Influye en el movimiento del afluente a través del humedal por su permeabilidad. (Delgadillo et al., 2010).

Microorganismos

En los humedales se desarrollan una gran variedad de microorganismos como bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Siendo las bacterias, el grupo fundamental en el proceso depurador de las aguas residuales, es decir, de realizar el tratamiento biológico. La actividad biológica:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato, afectando así la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes, como por ejemplo las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera.

Las bacterias en los humedales pueden ser aerobias y anaerobias que son esenciales para la remoción de contaminantes. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y por la fase de intercambio agua-atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Es así que, el sustrato utilizado en el lecho del humedal, la vegetación emergente usada en el tratamiento y las condiciones del ambiente (disponibilidad de oxígeno y temperatura) proveen el hábitat adecuado para el desarrollo de las bacterias aerobias o anaerobias (Lara, 1999).

Vegetación

El tipo de vegetación más usado en los humedales artificiales son las macrófitas. Utilizándose con más frecuencia las plantas enraizadas o arraigadas al sustrato que presentan una parte sumergida y otra aérea emergente. Entre ellas tenemos a: la espadaña o enea (*Typha* spp.), la caña o carrizo (*Phragmites* spp.), y los juncos (*Scirpus* spp.) (Agencia de protección ambiental, 2000).

Las plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas y sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora. Es por eso, que están directamente relacionadas con la disminución de contaminantes a través de sus diferentes estructuras vegetativas (García y Corzo, 2008).

1.2.7.4. Eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La eliminación de la DBO₅ ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios entre la grava y raíces, esta es eliminada por los microorganismos que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las macrófitas. La materia orgánica es degradada de forma aerobia en micro sitios de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto de lecho sumergido ocurre de forma anaerobia: fermentación mecánica y sulfato de reducción. La temperatura tiene una influencia muy fuerte, por lo que se observan variaciones estacionales en la DBO₅ del efluente (Patiño y Zhinín, 2011).

1.2.7.5. Eliminación de materia en suspensión

En los humedales de flujo subsuperficial los mecanismos de eliminación son diversos, la materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipos físico, es decir, se filtra en el medio granular. La sedimentación se realiza a causa de la baja velocidad de circulación de agua y el tamizado que se da en los espacios intersticiales del medio granular. Todos estos fenómenos son potenciados por las fuerzas de adhesión que se dan entre los sólidos para formar partículas más grandes (García y Corzo, 2008).

En los humedales horizontales la eliminación de la materia en suspensión sucede en su mayor parte en la zona de entrada lo que permite la mengua de la concentración a lo largo del lecho; es en $1/4 - 1/3$ de la longitud del sistema que permite la eliminación total de la materia en suspensión. En los humedales de flujo vertical la materia orgánica queda retenida en los primeros centímetros del medio granular. A medida que el agua recorre los horizontes del filtro se disminuye la concentración de los contaminantes. Tanto el sistemas de flujo horizontal y vertical el rendimiento de eliminación de la materia orgánica en suspensión suele ser de más del 90% lo que conlleva a la producción de efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l de materia en suspensión (Patiño y Zhinín, 2011).

1.2.7.6. Eliminación de nitrógeno

El nitrógeno posee un complejo ciclo bioquímico con varias transformaciones bióticas y abióticas teniendo 7 estados de valencia (+5 a -3). Los compuestos incluyen una variedad de formas orgánica e inorgánicas, que son esenciales para la toda la biota. La forma inorgánica más importante en los humedales es el amonio (Vymazal, 2007).

El nitrógeno se encuentra sometido a transformaciones de compuestos orgánicos a inorgánicos y viceversa, algunos de estos proceso requiere energía y otros liberan energía, que son usados por organismos para crecer y sobrevivir. Todas estas transformaciones son necesarias para el desempeño de los humedales, la mayoría de las transformaciones químicas son controladas por la producción de enzimas y catalizadores que son usados por organismos para su beneficio (Vymazal, 2007).

En las aguas residuales urbanas, el nitrógeno se encuentra en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico, no es muy común encontrar concentraciones significativas de nitritos y nitratos. El principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano que consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Hay otros procesos que contribuyen a la eliminación tales como adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas, dado así el ciclo del nitrógeno esta acoplado al ciclo del carbono (materia orgánica) en especial por la desnitrificación. Las bacterias autótrofas aeróbicas realizan la nitrificación, estas aprovechan el amonio y lo convierten en nitrato. La nitrificación requiere 4,6 mg de oxígeno por cada 1 mg de amonio (García y Corzo, 2008).

En los humedales horizontales debido a que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación no supera el 30%. En estos los procesos de nitrificación y desnitrificación suceden de forma acoplada, de manera que el nitrato formado es rápidamente aprovechado, generándose nitrógeno gas. (García y Corzo, 2008).

1.2.7.7. Eliminación de fósforo

El fósforo en los humedales se presenta como fosfato en compuestos orgánicos e inorgánicos. El ortofosfato libre es la única forma de fósforo que es utilizado por algas y macrófitas y este representa el mayor enlace entre el fósforo orgánico e inorgánico que circula en los humedales. Otro grupo de fósforo inorgánico son los polifosfatos lineales condensado. La eliminación del fósforo es complicada, por lo general se elimina el 10-20% sin diferencias entre humedales verticales y horizontales (Vymazal, 2007).

1.2.7.8. Planta

Phragmites australis (carrizo)

Phragmites australis o comúnmente conocido como carrizo, es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua. Esta caña común forma grandes camas en aguas poco profundas; posee tallos huecos, flexibles y leñosos que normalmente crecen hasta 2 m de altura, pero puede llegar a 4m, de

crecimiento rápido, vía rizomas; se extienden lateralmente y forman una capa muy densa en un año (Patiño y Zhinín, 2011).

Las hojas anchas asperosas y planas se estrechan en un punto, y se unen al tallo por vainas lisas, las hojas apuntan en una dirección en el viento. Las flores nacen en altamente ramificadas inflorescencias de color púrpura, que miden de 20 a 60 cm de longitud. Habita en suelos húmedos y orillas de cursos de agua y lagunas. En ríos se encuentran fundamentalmente en los tramos más bajos, en los que la velocidad del curso de agua les permite enraizar (Patiño y Zhinín, 2011).

Puede soportar bastante bien niveles moderados de salinidad en el agua y en el suelo, necesitando suelos encharcados hasta profundidades de 5 cm, por lo que es posible encontrarlo en las proximidades de pantanos y zonas más salobres (Patiño y Zhinín, 2011).



Figura 6. *Phragmites australis* (carrizo).
(Fuente: Patiño y Zhinín, 2011).

1.3. Definición de términos

Afluente. Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (RNE, 2006).

Agua residual. Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (RNE, 2006).

Anaerobio. Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre (RNE, 2006).

Biopelícula: Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica (RNE, 2006).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C) (RNE, 2006).

Demanda Química de Oxígeno. Medida de la capacidad de consumo de oxígeno de la materia inorgánica y orgánica presente en el agua o aguas residuales. Se expresa como la cantidad de oxígeno consumida por un oxidante químico en una prueba específica. No hace diferencias entre materia orgánica estable o inestable y por lo tanto no necesariamente interfiere con la demanda bioquímica de oxígeno (García, J., 2004).

Digestión. Descomposición de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial (RNE, 2006).

Eficiencia del tratamiento. Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje (RNE, 2006).

Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento (RNE, 2006).

Emisor. Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final (RNE, 2006).

Eutrófica. Alteraciones que se producen en el agua por compuestos de nitrógeno y fósforo que incrementan la productividad de algunas plantas, perdiéndose la capacidad de neutralizar el oxígeno existente en esa agua (García, 2004).

Fitodepuración. La fitodepuración es un sistema de depuración de las aguas residuales, basado en la utilización de humedales artificiales en los que se desarrollan plantas acuáticas (hidrofitos) que contribuyen activamente a la eliminación de los contaminantes, principalmente la materia orgánica. Son sistemas muy baratos en la inversión inicial y en el mantenimiento (Fernández, 2014).

Fosfatos. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos, y van a parar al agua como residuos domésticos (García, 2004).

Humedal construido. Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales (García y Corzo, 2008).

Nitratos. Los nitratos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc. (García, 2004).

Planta piloto. Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y de los parámetros de diseño del proceso (RNE, 2006).

Potencial de hidrógeno (pH): logaritmo con signo negativo de la concentración de iones de hidrógeno, expresado en moles por litro (RNE, 2006).

Saneamiento. Las acciones necesarias de control y cambio para restablecer un balance ambiental satisfactorio (García, 2004).

Sólidos totales. Es la materia sólida contenida en el agua, que se obtiene como residuo después de someter el agua a temperaturas entre 10 y 105 °C hasta que se evapore. Se diferencian de acuerdo al tamaño de las partículas: sólidos disueltos totales o filtrables, aquellos que atraviesan un filtro de membrana; y sólidos suspendidos, aquellos que serán retenidos en un filtro de membrana de vidrio con tamaño de poro de 1.2 micras. Los sólidos totales se expresan en unidades de ml/l o mg/l. De acuerdo a la naturaleza del soluto: sólidos orgánicos volátiles y sólidos inorgánicos o fijos (Delgadillo et al., 2010).

Turbiedad: Presencia en el agua de sedimentos finos, visibles y en suspensión, que impiden el pasaje de la luz (García, 2004).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Material para construcción del tanque imhoff

Ladrillos King Kong de 23 x 12.5 x 9 cm

Cemento portland

Hormigón

Arena

Aditivo impermeabilizante SIKA tipo I

Plancha de fierro negro de 1 1/16"

Tubos de PVC de 1/2"

Válvulas de paso de 1/2"

Canastilla de bronce de 1/2"

Accesorios de tubería (Tee de 1/2", Codo 90°, adaptadores, etc)

Teflón

Pegamento para PVC

2.1.2. Material para construcción del humedal artificial

Ladrillos King Kong de 23 x 12.5 x 9 cm

Cemento portland

Hormigón

Arena

Aditivo impermeabilizante SIKA tipo I

Tubería de PVC de 1/2"

Válvulas de paso de 1/2"

Accesorios de tubería (Tee de 1/2", Codo 90°, adaptadores, etc.)

Teflón

Pegamento para PVC

Grava de 5.0 cm

Confitillo

Plantas de carrizo

2.1.3. Material para la recolección de muestras

Botellas para muestras de 625 ml

Hielo en gel

01 culer

01 bata blanca

Guantes quirúrgicos

Mascarillas

Cinta de embalaje

2.1.4. Material para el trabajo en gabinete

Laptop ACER

Memoria USB 8 Gb.

Software (Word, Excel, AutoCAD 2017)

Impresora

Útiles de escritorio

2.1.5. Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos

Reactivos

Sobres de tampón de nutrientes para DBO_5 , 300 ml.

Sobres de reactivo en polvo NitraVer 5 para nitratos.

Sobres de reactivo en polvo PhosVer 3 para fosfatos.

Equipos

Incubadora de DBO_5 ILW 115 STD marca POL-EKO-APARATURA

Medidor de oxígeno disuelto HI 98193 marca HANNA

Colorímetro DR 900 marca HACH

Turbidímetro 1100 IR marca TURBIQUANT

pH-metro pHTestr 20 marca WATERPROFF

Medidor de sólidos disueltos DiST 1 marca HANNA

2.2. Método

2.2.1. Descripción de la metodología de construcción del tanque imhoff

Para poder dimensionar el tanque imhoff se tomaron en consideración los criterios de la Norma S 090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

Cámara de sedimentación.

Cámara de digestión de lodos.

Área de ventilación y cámara de natas. (OPS, 2005).

Para efectos de investigación se construyó el tanque imhoff a escala en propiedad de la Municipalidad de Habana con los siguientes procedimientos:

Se realizó la limpieza del terreno donde se va a construir el tanque imhoff a escala.

Se excavó una zanja de 1,18 m de largo, 0,83 m de ancho por 0,87 m de profundidad, a esta medida se adicionó 0,15 m a cada lado para la colocación del ladrillo y 0,10 m de profundidad de más para el solado.

Se colocó el concreto simple para el solado de 0,10 m.

Se asentó los ladrillos (soga) para las paredes en todo el perímetro del tanque imhoff.

Se procedió a hacer la base con concreto $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ (en forma de tronco de pirámide invertida) para la cámara de digestión de lodos.

Se procedió a preparar el mortero junto con el aditivo impermeabilizante SIKA tipo I con cemento pulido para tarrajear toda la parte interna.

Se colocó las planchas de fierro negro de 1 1/16” que pertenecen a la cámara de sedimentación (el sistema cuenta con dos zonas de cámara de sedimentación), contó con dos planchas de 0,18 m de largo; 0,18 m de diagonal con un ángulo de inclinación de 50° y una separación de 0,02 m; dos planchas de 0,29 m de largo; 0,18 m de diagonal con un ángulo de inclinación de 50° y una separación de 0,02 m, respectivamente.

Se colocó el sistema de drenaje y ventilación con tuberías de PVC 1/2" y accesorios necesarios como tees de 1/2", codos de 90°, pegamento para tubería de PVC, teflón, válvulas de paso de 1/2" y canastillas de bronce de 1/2" para la salida de lodos. En este sistema se conectaron 04 tuberías de aireación de PVC de 1/2".

Se instaló una cachimba de 6" con reducciones de 4" a 2" y reducciones de 1 1/2" a 1/2" al tubo principal de alimentación de la PTAR del distrito de Habana para la conducción del agua residual hacia una tubería de PVC de 1/2" al ingreso del tanque imhoff a escala con sus respectivos accesorios como tees de 1/2" para conducir a las dos entradas con tubos de PVC de 1/2" a la cámara de sedimentación.

Se instaló la tubería de PVC 1/2" de conducción del agua residual a la salida del tanque imhoff y entrada al humedal artificial, utilizando dos válvulas de paso de 1/2" para su monitoreo respectivo.

2.2.2. Descripción de la metodología de construcción del humedal artificial

Seguidamente de la construcción del tanque imhoff se construyó el humedal artificial a escala en propiedad de la Municipalidad de Habana con los siguientes procedimientos:

Se realizó la limpieza del terreno donde se va a construir el humedal artificial.

Se excavó una zanja de 1,53 m de largo, 0,47 m de ancho por 0,57 m de profundidad, a esta medida se adicionó 0,15 m a cada lado para la colocación del ladrillo y 0,10 m de profundidad de más para el solado.

Se colocó el concreto simple para el solado de 0,10 m con 1% de pendiente.

Se asentó los ladrillos (soga) para las paredes y la base en todo el perímetro del humedal artificial.

Se procedió a preparar el mortero junto con el aditivo impermeabilizante SIKA tipo I con cemento pulido para tarrajear toda la parte interna.

Se colocó el sistema de drenaje con tuberías de PVC 1/2" en la base del humedal artificial con una perforación de 1/4" cada 0.01 m y accesorios necesarios como tees

de 1/2", codos de 90°, pegamento para tubería de PVC, válvulas de paso de 1/2" para la salida del efluente.

Se colocó los sustratos para nuestra planta utilizando grava de 5.0 cm de diámetro a una altura de 0,12 m y confitillo a una altura de 0,17 m.

En este sistema se conectó 01 tubería de aireación de PVC de 1/2", una tubería de PVC 1/2" de conducción del agua residual a la salida del humedal artificial a 0.5 cm por debajo del confitillo (Nivel de desagüe) puesto que nuestro humedal es subsuperficial de flujo horizontal con su respectiva válvula de paso de 1/2" para el control y recolección de las muestras.

Se recolectaron 04 plantas de *Phragmites australis* (Carrizo), mismas que fueron extraídas a 3 meses aproximadamente de crecimiento de un vivero forestal del distrito de Calzada, se sembró en el humedal artificial.

Inicialmente todo el sistema de tanque imhoff – HA se alimentó con un 100% de agua residual proveniente directamente de la tubería principal de recolección de aguas servidas del distrito de Habana.

2.2.3. Descripción del proceso de muestreo

Operación del tanque imhoff – HA

Una vez finalizada la construcción, se procedió a ingresar el agua residual al sistema integrado. Desde el primer suministro de agua residual, se esperó 45 días para iniciar con la etapa de monitoreo, con la finalidad de que las plantas se adapten a su medio.

Las dos primeras semanas se realizó las fases de llenado sin regulación de caudal para el monitoreo respectivo del tanque imhoff y humedal artificial, el agua se cambiaba cada 3 días. A partir de la tercera semana se inició con una alimentación continua para poder controlar el caudal. Se realizó un seguimiento periódico para verificar el ingreso del agua al tanque imhoff, el ingreso al humedal artificial; el aspecto de las plantas y el efluente depurado.

Monitoreo del tanque imhoff – HA

El monitoreo periódico nos permitió evaluar el funcionamiento de las unidades experimentales, con el que se pudo verificar posibles anomalías y evidenciar que se esté cumpliendo con los objetivos establecidos.

Localización de los puntos de muestreo

Para evaluar el funcionamiento del sistema Tanque imhoff – HA se estableció los puntos de muestreo de la siguiente manera: ingreso del agua residual al tanque imhoff (afluente), ingreso al humedal artificial (Efluente 1) y salida de agua residual del humedal artificial (Efluente 2).

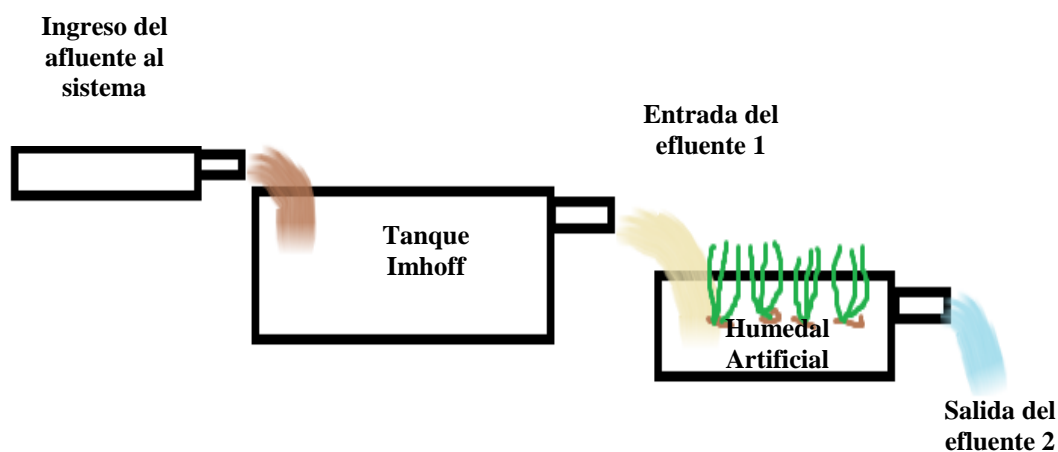


Figura 7. Esquema del tratamiento de aguas residuales y puntos donde se realiza la toma de muestras.

El monitoreo tuvo un periodo de 3 meses cada 15 días, en donde se realizó el análisis de los siguientes parámetros fisicoquímicos:

pH

Temperatura

Turbidez

Sólidos totales en suspensión (SST)

Nitratos

Fosfatos

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Análisis en campo y en laboratorio

Se realizó mediciones de pH, temperatura, turbidez y sólidos totales en suspensión; en el afluente, efluente 1 y efluente 2, para lo cual se adquirió (financiamiento propia) instrumentos de medición directa. Para determinar y registrar las lecturas de pH de utilizó un pH-metro de mano, para turbidez un turbidímetro digital y para sólidos totales en suspensión en simultaneo con la temperatura un equipo de medición de solidos totales en suspensión digital.

Mientras se realizaba la medición de los parámetros antes mencionados, se tomaron muestras simples en cada punto de muestreo para los otros parámetros. Las muestras se llevaron al laboratorio de biología y química de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín. Esta actividad se realizó en horas de la mañana, las muestras se recolectaron en botellas de plástico de 625 ml, previamente lavadas con agua destilada, debidamente sellados y etiquetados (contó con información tales como: Número de muestra, lugar y/o ubicación de la toma de muestra, fecha de muestreo, hora de muestreo y nombre del muestreador) y colocadas en un culer, cubiertas con hielo, con el fin de conservar la muestra durante el transcurso del viaje desde Habana hasta el laboratorio de la facultad de Ecología. Con la muestra de agua residual obtenida se procedió a analizar los datos de los parámetros del afluente, efluente 1 y efluente 2.

2.2.4. Descripción de la metodología usada en el laboratorio

La metodología utilizada en la medición de parámetros principalmente se enmarca en las recomendaciones de los métodos estándares para el análisis de aguas residuales y los parámetros evaluados se describen a continuación:

Medición de pH

Para la medición de pH se realizó mediante el método instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo la muestra

Se colocó 125 ml de muestra en un vaso de plástico de 250 ml para colocar el pH-metro.

Se realizó la lectura del pH mediante el electrodo del medidor portátil un pH-metro digital pHTestr 20 marca WATERPROOF.

Medición de la turbidez

Para la medición de turbiedad se realizó mediante el método instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo la muestra

Se llenó completamente la celda del turbidímetro.

Se realizó la lectura de la turbiedad con un Turbidímetro 1100 IR marca TURBIQUANT.

Medición de sólidos totales en suspensión (SST)

Para la medición de SST se realizó mediante el método instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo la muestra.

Se colocó 125 ml de muestra en un vaso de plástico de 250 ml para colocar el medidor de SST.

Se realizó la lectura de los sólidos totales en suspensión mediante el electrodo del medidor portátil DiST 1 marca HANNA.

Cabe mencionar que adicional a la lectura de sólidos en suspensión se hizo la lectura de la temperatura en °C.

Medición de nitratos

Para la medición de nitratos se realizó mediante el método instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo la muestra

Se preparó el agua de dilución (con reactivo NitraVer 5 de marca HACH)

Se preparó tres diluciones por muestra en botellas de vidrio de tapa rosca de 25 ml (con 10 ml de muestra para cada botella, uno sin reactivo y otro con reactivo para la comparación)

Se esperó un tiempo de 3 min para la comparación de ambas botellas.

Se realizó la lectura del nitrato con un Colorímetro DR 900 marca HACH, ambas en ausencia de luz.

Medición de fosfatos

Para la medición de fosfatos se realizó mediante el método instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo la muestra

Se preparó el agua de disolución (con reactivo PhosVer 3 de marca HACH)

Preparación de tres diluciones por muestra en botellas de vidrio de tapa rosca de 25 ml (con 10 ml de muestra para cada botella, uno sin reactivo y otro con reactivo para la comparación)

Se esperó un tiempo de 4 min para la comparación de ambas botellas.

Se realizó la lectura del fosfato con un Colorímetro DR 900 marca HACH, ambas en ausencia de luz.

Medición de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Para la medición de DBO₅ mediante el método de dilución - instrumental, consistió básicamente en lo siguiente:

Se obtuvo de la muestra.

Se midió del oxígeno disuelto inicial de las muestras en un vaso de precipitado con 60 ml de agua residual para su mayor manejabilidad.

Se preparó el agua de disolución (con nutrientes de 1 ml de DBO₅ de marca HACH).

Se preparó tres diluciones por cada muestra en botellas winkler de 300 ml (con 200 ml de muestra para cada muestra).

Se incubaron las diluciones en oscuridad a 20 °C durante 5 días.

Se midió el oxígeno disuelto final a 5 días.

Se determinó la DBO₅ con un Medidor de Oxígeno disuelto HI 98193 marca HANNA.

La caracterización de los parámetros físico-químicos que son pH, temperatura, turbidez, sólidos totales en suspensión, nitratos, fosfatos y DBO₅ fue realizado por el mismo autor.

2.2.5. Descripción de la metodología usada para el procesamiento y análisis de datos

Cálculos matemáticos

Se obtuvo el caudal

Se calculó el dimensionamiento de ambos sistemas, tanto del Tanque Imhoff como del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal.

Se obtuvo la eficiencia en la remoción de los parámetros del tanque Imhoff – HA donde se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ eficiencia en remoción} = \frac{\text{concentración}_{\text{entrada}} - \text{concentración}_{\text{salida}} \times 100}{\text{concentración}_{\text{entrada}}}$$

Programas de ingeniería

Se utilizó el programa de AutoCAD para el diseño del Tanque Imhoff - HA subsuperficial de flujo horizontal.

Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se utilizaron tablas y gráficos para la comparación de datos resultantes.

Fue necesario el apoyo de los datos del cuadro del *DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*; para la comparación de los resultados que esta norma contiene y los nuevos resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio en los parámetros que se llegaron a evaluar.

Ya que la normatividad peruana con respecto a límites máximos permisibles no cuenta con las concentraciones de tres de los parámetros evaluados, fue necesario tomar como referencia los estándares de calidad ambiental (ECA's).

Para la contrastación de la hipótesis se usó el análisis estadístico T de Student para valorar la diferencia significativa de ingreso y salida del afluente y efluente 2 en el sistema integrado por un tanque imhoff y humedal artificial.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Dimensionamiento del sistema integrado por un tanque imhoff y humedal artificial.

3.1.1.1. Diseño del tanque imhoff.

Diseño del sedimentador

Caudal de diseño, m³/hora (para cada sedimentador)

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{1000} \times \% \text{Contribución}$$

Dotación, en litro/hab/día.

Tabla 3
Población estimada al 30 de junio, 2012-2015

Distrito	Año	Población
Habana	2012	1915
	2013	1942
	2014	1968
	2015	1993

Fuente: (INEI, 2007)

Tabla 4
Tasa de crecimiento poblacional del distrito de Habana

Distrito	Año	Tasa de crecimiento (%)
Habana	1972 - 1981	6.3
	1981 - 1993	1.5
	1993 - 2007	2.28

Fuente:(INEI, 2007)

Población al 2018	= 2130 hab.
Temperatura	= 18 °C
Tasa de crecimiento	= 2.28%
Período de diseño	= 20 años
Dotación	= 150 l/hab/d
% de Contribución	= 80%

Cálculo de la población:

$$P_f = P_a(1 + r \cdot t)$$

Donde:

P_f : Población futura

P_a : Población actual

r : Tasa de crecimiento (%)

t : Período de diseño

$$P_f = 2130(1 + 0.0228 \times 20)$$

$$P_f = 3344 \text{ hab.}$$

$$Q_p = \frac{3344 \times 150}{1000} \times 0.80$$

$$Q_p = 401.28 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_p = 4.64 \text{ l/s}$$

$$Q_p = 2.32 \text{ m}^3/\text{hora} \text{ (Para cada sedimentador)}$$

Área para cada sedimentador (A_s , en m^2).

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s}$$

Donde:

C_s : Carga superficial, igual a $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{hora})$.

$$A_s = 0.10 \text{ m}^2$$

Volumen para cada sedimentador (V_s , en m^3).

$$V_s = Q_p \times R$$

R : Período de retención hidráulica, entre 1,5 a 2,5 horas (recomendable 2 horas).

$$V_s = 4.64 \text{ m}^3$$

El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de 50° a 60° .

La relación entre Longitud y Ancho del sedimentador es igual a 8 por lo tanto:

$$a/b = 8$$

$$a = 8b$$

$$\text{área} = a \times b$$

$$\text{área} = 8b \times b$$

$$\text{área} = 8b^2$$

$$a = 11.78 \text{ m}$$

$$b = 3.10 \text{ m}$$

En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.

Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.

Diseño del digestor

Volumen de almacenamiento y digestión (Vd, en m³).

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tuvo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 5
Factores de capacidad relativa y tiempo de digestión de lodos

Temperatura °C	Tiempo digestión (Td) (días)	Factor capacidad relativa
5	110	2
10	76	1.4
15	55	1
20	40	0.7
> 25	30	0.5

Fuente: (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS 090)

$$Vd = \frac{70 \times P \times fcr}{1000}$$

Donde:

fer : factor de capacidad relativa, ver tabla 1.

P : Población.

$$Vd = 234.08 \text{ m}^3$$

El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.

Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.

La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

Tiempo requerido para digestión de lodos

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía de acuerdo a la temperatura, por lo tanto de acuerdo a la tabla N° 05:

Temperatura : 18°C

Td : 55 días

Área de ventilación y cámara de natas

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (Zona de espuma o natas) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.

La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.

El borde libre será como mínimo de 0,30 m.

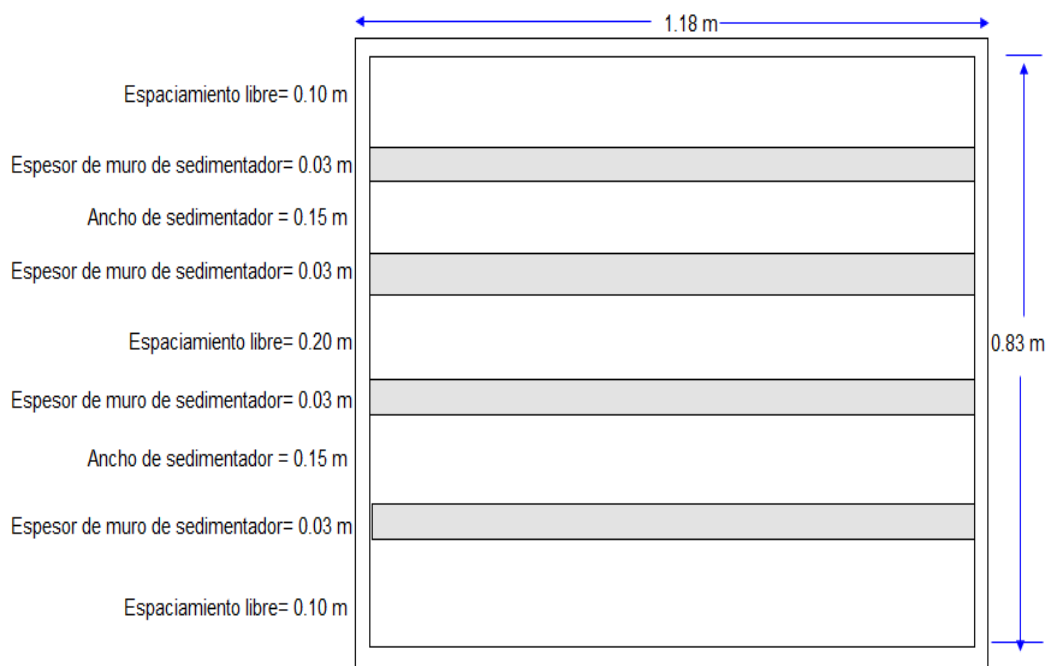


Figura 8. Dimensionamiento del área de ventilación y la cámara de natas

Cabe resaltar que se hizo el cálculo real del tanque imhoff sin escalas, para lo cual, en nuestro caso, se hizo un tanque imhoff piloto con una escala de 1/10, luego de los resultados obtenidos, el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6
Dimensiones del diseño del tanque imhoff a escala

Descripción	Cantidad	Unidad
Población a verter	3,344	hab
Caudal de diseño (Q _{mh})	4.64	l/s
Borde libre, m	0.03	m
Espaciamiento libre entre las paredes del sedimentador	0.10	m
Espesor muros sedimentador, m	0.03	m
Caudal medio a cada Sedimentador, m ³ /día	2.32	m ³ /día
Área requerida por cada Sedimentador, m ²	0.10	m ²
Ancho de cada sedimentador (B), m	0.15	m
Ancho Total de Zona de Sedimentacion (sin contar muros)	0.31	m
Largo zona sedimentador (L), m	1.18	m
Altura del fondo del sedimentador	0.09	m
Ancho tanque Imhoff (B _{im}), m	0.83	m
Altura del fondo del digester, m	0.05	m
Altura total tanque imhoff, m	0.87	m

Fuente: (El autor)

3.1.1.2. Diseño del humedal artificial.

Para poder diseñar el humedal artificial, se usó el método de diseño a escala piloto, con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{piloto}} = Q_{\text{real}} - (Q_{\text{real}} * \text{factor de escala})$$

$$Q_{\text{piloto}} = 401.28 - (401.28 * 0.9633)$$

$$Q_{\text{piloto}} = 14.7 \text{ m}^3/\text{d}$$

Cálculo del área transversal

El cálculo del área transversal se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$At = \frac{Q}{Ks \times S}$$

Donde:

At : área transversal (m²)

Ks : conductividad hidráulica (m³/m². día)

S : Pendiente (%)

Pendiente:

La pendiente o gradiente hidráulico del humedal artificial debe ser plana (0%) para evitar encharcamientos, mientras que en el fondo entre 0.5 a 0.2% pero se recomienda una inclinación del 1% para facilitar una conducción y drenaje adecuado. (Delgadillo et al., 2010, p. 32).

Pendiente: 1%

Tabla 7
Características medias del sustrato en Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HASSFH)

Tipo de sustrato	Diámetro efectivo d10(mm)	Porosidad n (%)	Conductividad hidráulica k_s (m ³ /m ² .día)
Arena gruesa o graduada	2	32	1000
Arena gravosa	8	35	5000
Grava fina	16	38	7500
Grava media	32	40	10 000
Piedra gruesa	128	45	100 000

Fuente:(Delgadillo et al., 2010)

$$At = \frac{14.7}{7500 \times 0.01}$$

$$At = 0.196 \text{ m}^2$$

Cálculo del ancho del humedal

$$W = \frac{At}{d}$$

Donde:

w :ancho del humedal(m)

At : área transversal (m²)

d : profundidad del humedal (m)

La profundidad del sustrato típico es de 0.4m a 1.00 m. entre más profundo se encuentre el sustrato, mayor será la carga que el sistema puede procesar, pero si el sustrato es demasiado profundo, las condiciones en el fondo llegan a ser anaeróbicas y pueden resultar en la eliminación reducida del DBO₅ y de nutrientes (García y Corzo, 2008).

Asumimos una profundidad de 0.42 m

$$W = \frac{0.196}{0.42}$$

$$W = 0.47 \text{ m}$$

Cálculo de la constante de velocidad de reacción, K_t para DBO₅

Según ONU-HABITAT- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Manual de humedales artificiales, (2008), una fuente de información bien establecida, estima un K_{20} de 1.104 día^{-1}

$$K_t = K_{20} * (1.06^{(T^\circ - 20)})$$

Donde:

K_t : constante de velocidad de reacción (día^{-1})

T° : temperatura ($^\circ\text{C}$)

$$K_t = 29.64 \text{ d}^{-1}$$

Cálculo del área superficial (m^2)

$$A_s = \frac{Q \times (\ln \text{DBO}_{C_0} - \ln \text{DBO}_{C_1})}{K_t \times d \times n}$$

Donde:

DBO_{C_0} : Concentración inicial del contaminante o afluente, mg/l .

DBO_{C_1} : Concentración final del contaminante o efluente, mg/l .

K_t : Constante de velocidad de reacción

d : Profundidad del humedal, m

n : Porosidad

$$A_s = \frac{1.47 \times (\ln (110) - \ln (11))}{29.64 \times 0.41 \times 0.38}$$

$$A_s = 0.72 \text{ m}^2$$

Cálculo de tiempo de retención hidráulico (t)

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{A_s * d * n}{Q \text{ ((m}^3/\text{día))}}$$

Donde:

t : tiempo de retención hidráulica (días), Es el tiempo que el agua debe de quedarse en el sistema para alcanzar el nivel de DBO₅ deseado con la ecuación.

A_s : área superficial requerida para remover la carga orgánica (m²)

d : profundidad del humedal (0.42 m)

n : porosidad de sustrato para humedales de flujo superficial (38%)

$$t = 0.08 \text{ día}$$

$$t = 1.92 \text{ h}$$

Determinación de la longitud del humedal (m)

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Donde:

L : longitud del humedal (m)

W : ancho del humedal (m)

$$L = \frac{0.72}{0.47}$$

$$L = 1.53 \text{ m}$$

3.1.2. Determinación de parámetros del agua residual municipal

Caracterización del agua residual por parámetro:

Para la caracterización de cada parámetro y con la ayuda de los equipos a utilizar durante todo el proceso en los cinco muestreos realizados en el afluente, efluente 1 y efluente 2; se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 8

Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 1

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente 1	Efluente 2
pH	Unidad	7.50	7.30	7.12
Temperatura	°C	26.00	25.40	25.30
Turbidez	UNT	55.87	25.38	9.38
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/l	206.00	112.00	12.00
Nitratos	mg/l	0.31	0.25	0.23
Fosfatos	mg/l	12.21	10.10	5.26
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	98.00	51.96	11.45

Nota: Este análisis fue realizado en el lugar de la tesis y en el laboratorio de biología y química de la facultad de Ecología.

Tabla 9

Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 2

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente 1	Efluente 2
pH	Unidad	7.31	7.21	7.06
Temperatura	°C	25.40	25.30	25.00
Turbidez	UNT	41.52	26.48	8.47
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/l	192.00	102.00	9.00
Nitratos	mg/l	0.10	0.08	0.06
Fosfatos	mg/l	10.13	8.40	3.67
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	106.82	60.80	5.82

Nota: Este análisis fue realizado en el lugar de la tesis y en el laboratorio de biología y química de la facultad de Ecología.

Tabla 10

Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 3

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente 1	Efluente 2
pH	Unidad	7.54	7.38	7.03
Temperatura	°C	25.60	25.30	25.10
Turbidez	UNT	59.75	36.15	7.38
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/l	198.00	104.00	10.00
Nitratos	mg/l	0.07	0.06	0.05
Fosfatos	mg/l	14.40	10.56	4.62
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	102.50	45.13	5.16

Nota: Este análisis fue realizado en el lugar de la tesis y en el laboratorio de biología y química de la facultad de Ecología.

Tabla 11

Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 4

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente 1	Efluente 2
pH	Unidad	7.61	7.26	7.05
Temperatura	°C	26.20	25.80	25.50
Turbidez	UNT	48.80	29.87	8.35
Sólidos Totales en Suspensión	mg/l	201.00	109.00	13.00
Nitratos	mg/l	0.12	0.09	0.07
Fosfatos	mg/l	11.02	8.64	3.42
DBO ₅	mg/l	96.12	53.87	4.30

Nota: Este análisis fue realizado en el lugar de la tesis y en el laboratorio de biología y química de la facultad de Ecología.

Tabla 12

Valores de los parámetros en el afluente, efluente 1 y efluente 2 – muestreo 5

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente 1	Efluente 2
pH	Unidad	7.53	7.17	7.00
Temperatura	°C	26.00	25.40	25.10
Turbidez	UNT	54.54	21.52	6.89
Sólidos Totales en Suspensión	mg/l	208.00	115.00	8.00
Nitratos	mg/l	0.07	0.05	0.04
Fosfatos	mg/l	11.21	8.15	3.33
DBO ₅	mg/l	107.18	54.99	3.69

Nota: Este análisis fue realizado en el lugar de la tesis y en el laboratorio de biología y química de la facultad de Ecología.

Análisis del potencial de hidrógeno (pH)

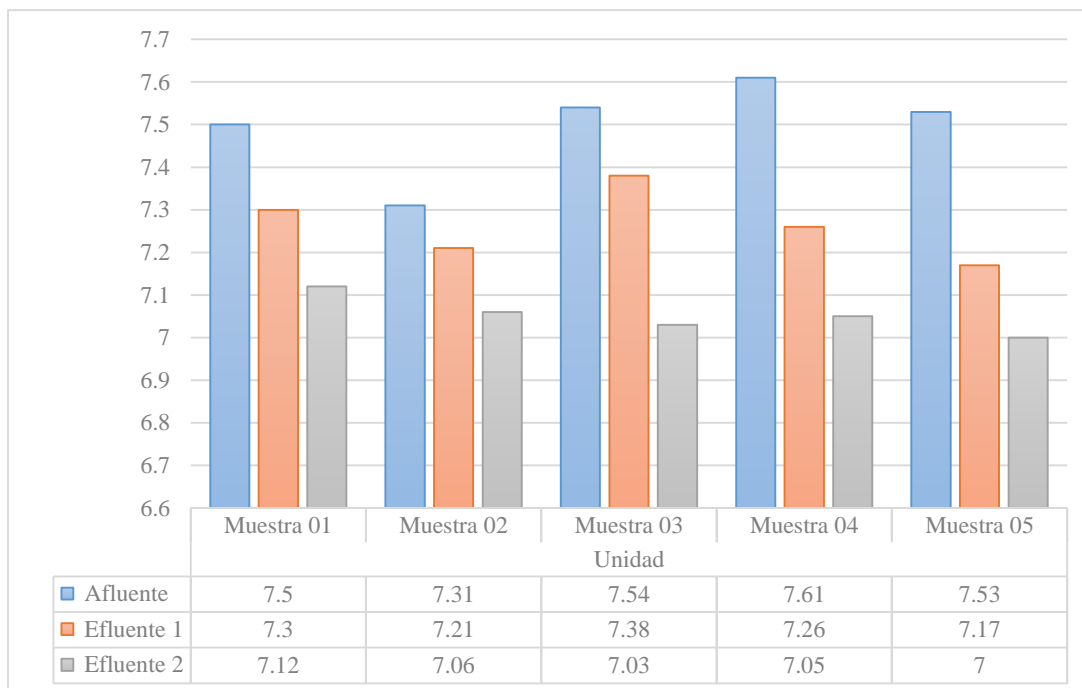


Figura 9. Variación de pH.

Interpretación: Los valores de pH del agua de ingreso (Afluente) mantienen valores altos a lo largo del periodo de muestreo con relación a los valores del efluente 1 y efluente 2; así mismo muestran que en el efluente 1, el pH es mayor que en el efluente 2, lo cual supone que las plantas de alguna forma influyen en la disminución de concentración del ion hidrógeno. Cabe recalcar que tanto en el afluente, efluente 1 y efluente 2 los valores de pH son ligeramente alcalinos, mostrando en la muestra 5 un valor de pH neutro para el efluente 2.

Análisis de temperatura

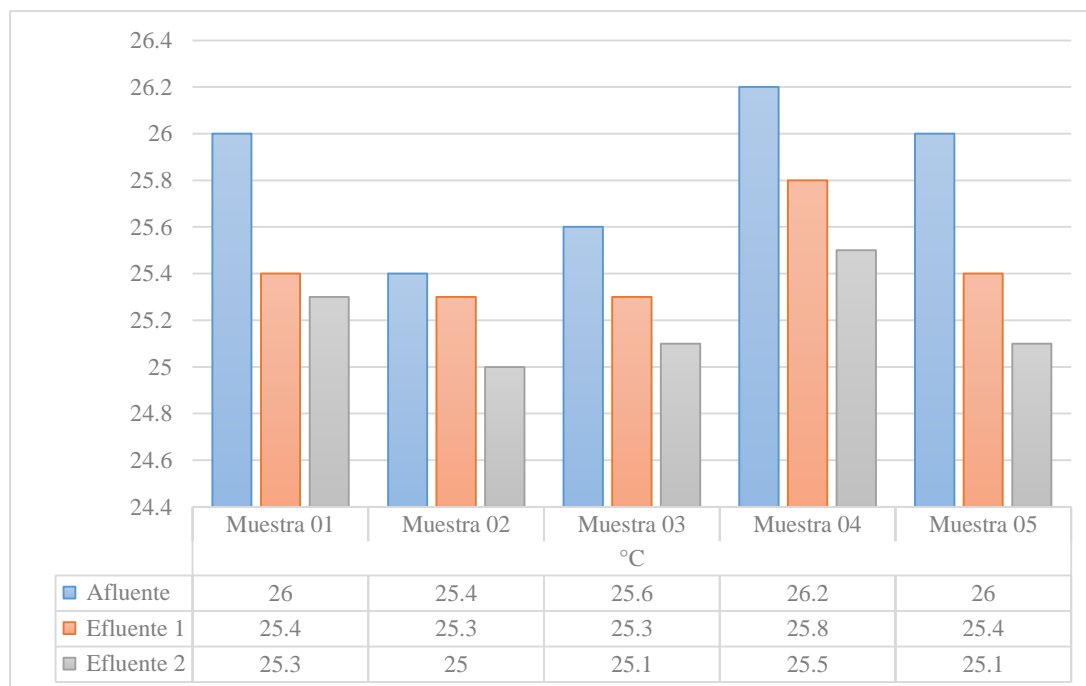


Figura 10. Variación de temperatura.

Interpretación: Los valores de temperatura, en general, éstos varían en función de la temperatura ambiente y no se observan variaciones mayores a 1 °C en casi todos los valores del periodo de muestreo, obteniéndose en el afluyente una temperatura promedio de 25.84 °C, 25.44 °C en el efluente 1 y 25.2 °C en el efluente 2, claramente se observa diferencia de decimales. Hay que recalcar que en todos los cinco muestreos se presentan en el agua del afluyente valores altos con relación a los valores obtenidos en el efluente 1 y efluente 2.

Análisis de la turbidez

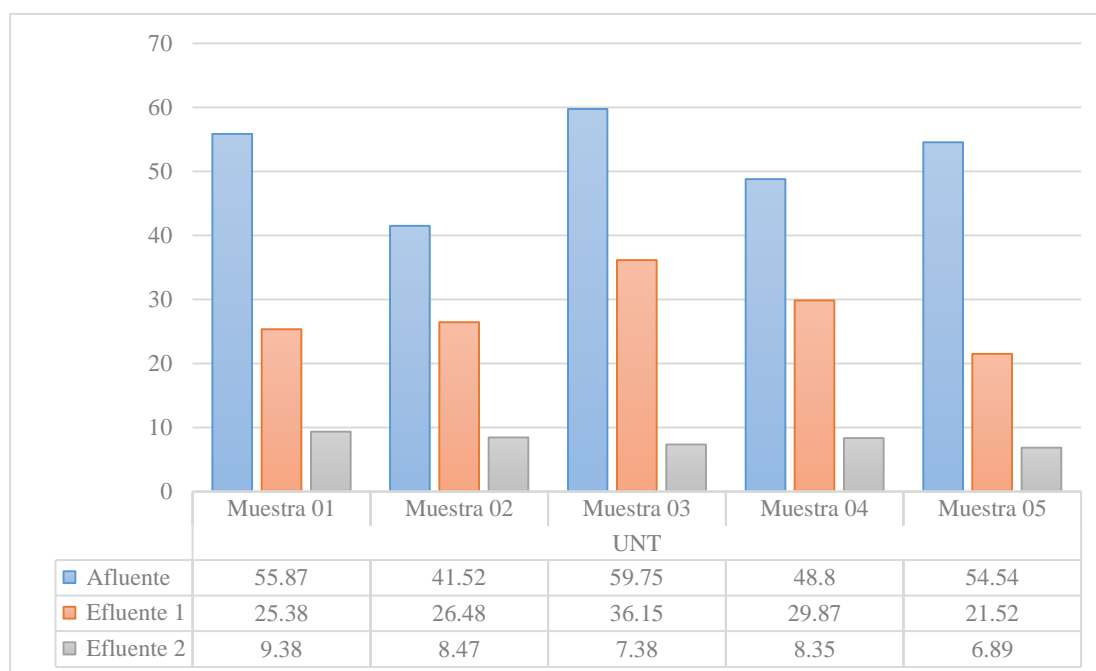


Figura 11. Variación de turbidez.

Interpretación: Los valores de turbidez en el afluente; en el primer, tercer y quinto muestreo muestran un comportamiento parecido con entradas por encima de los 50 UNT, mientras que el segundo y cuarto muestreo con entradas entre los 40 UNT a 50 UNT. Las variaciones para el efluente 1 en todo el periodo de muestreo son importantes con respecto al afluente, obteniéndose valores promedios de 27.88 UNT estando claramente por debajo de los 30 UNT, en tanto en el efluente 2 se muestran valores de remoción muy significativas con respecto al afluente en todo el periodo de muestreo, con valores debajo de los 10 UNT.

Análisis de sólidos totales en suspensión (SST)

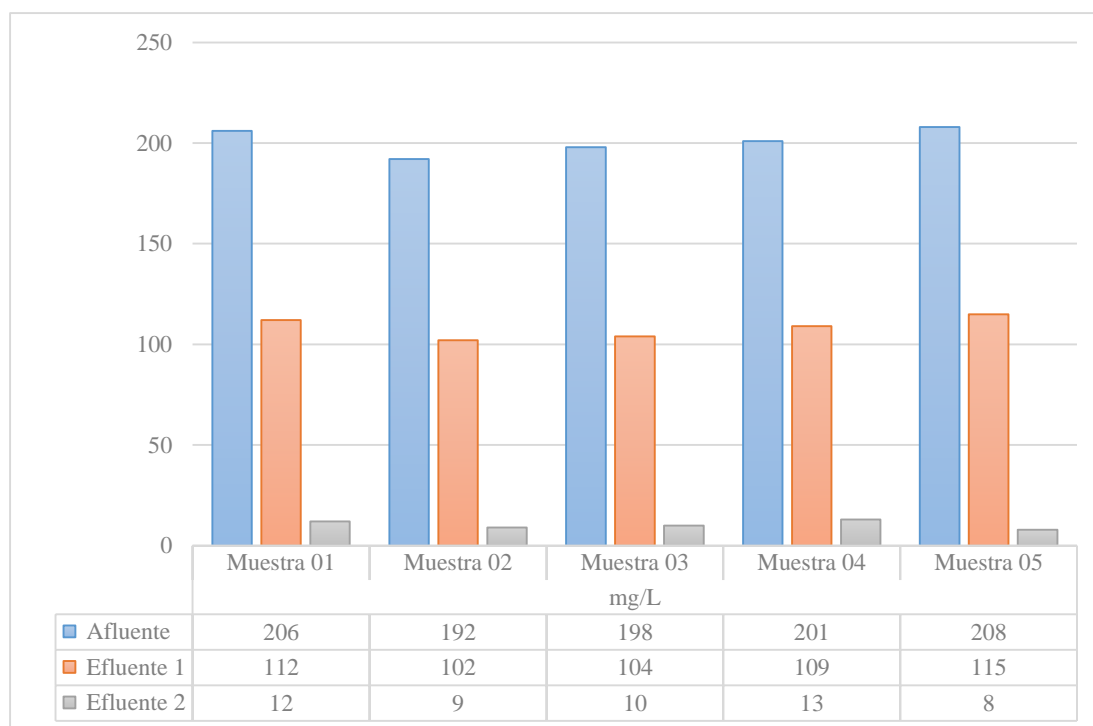


Figura 12. Variación de sólidos totales en suspensión (SST).

Interpretación: La concentración de sólidos totales en suspensión (SST) en el afluente de todos los muestreos está por encima de los LMP (que establece 150 mg/l) con valores promedio en 201 mg/l, en tanto en el efluente 1 se muestran valores promedio de 108.5 mg/l, mientras que en el efluente 2 se muestran valores muy marcados en remoción con un valor promedio de 10.4 mg/l, observándose en la muestra 2 y 5 remociones menos de 10 mg/l; ambas unidades experimentales muestran valores de remoción por debajo de los LMP, la reducción de sólidos se debe a que el sistema no muestra problemas de encharcamiento .

Análisis de nitratos

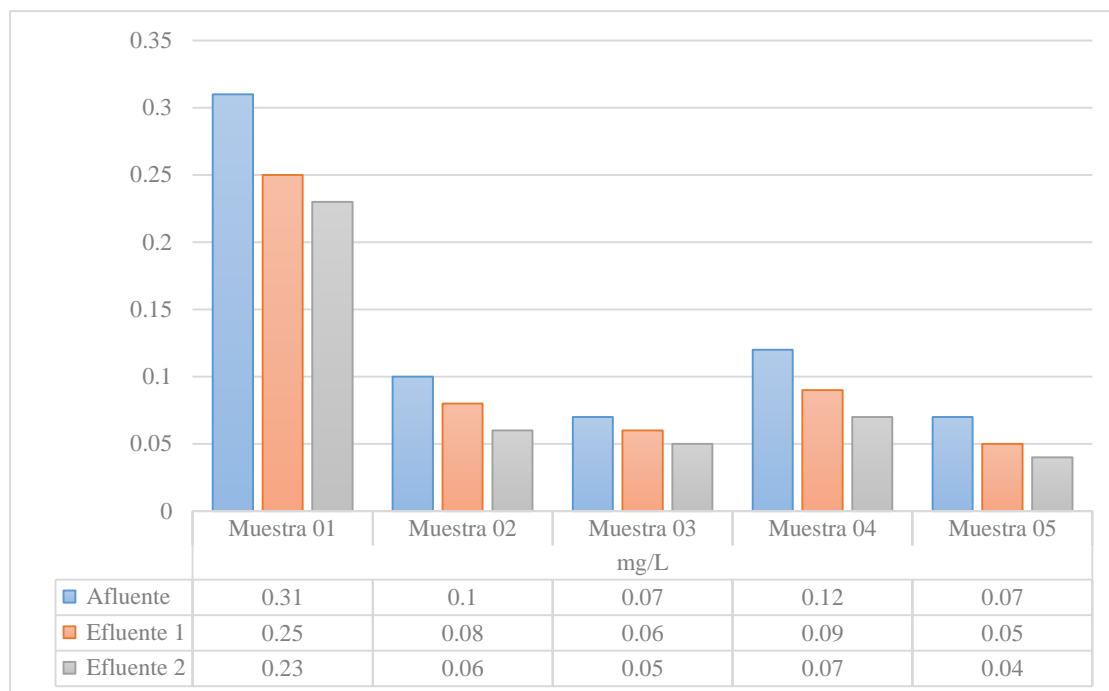


Figura 13. Variación de nitratos.

Interpretación: Las concentraciones registradas de nitratos en todos los muestreos 1, 2, 3, 4 y 5 muestran un comportamiento menos de 1 mg/l tanto en el afluente que van desde 0.31 mg/l hasta 0.07 mg/l; en el afluente 1 con valores que van desde 0.25 mg/l a 0.05 mg/l; en el efluente 2 con un valor de 0.23 mg/l a 0.04 mg/l; lo que evidencia que la remoción se encuentra en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno), dando lugar al proceso de desnitrificación.

Análisis de fosfatos

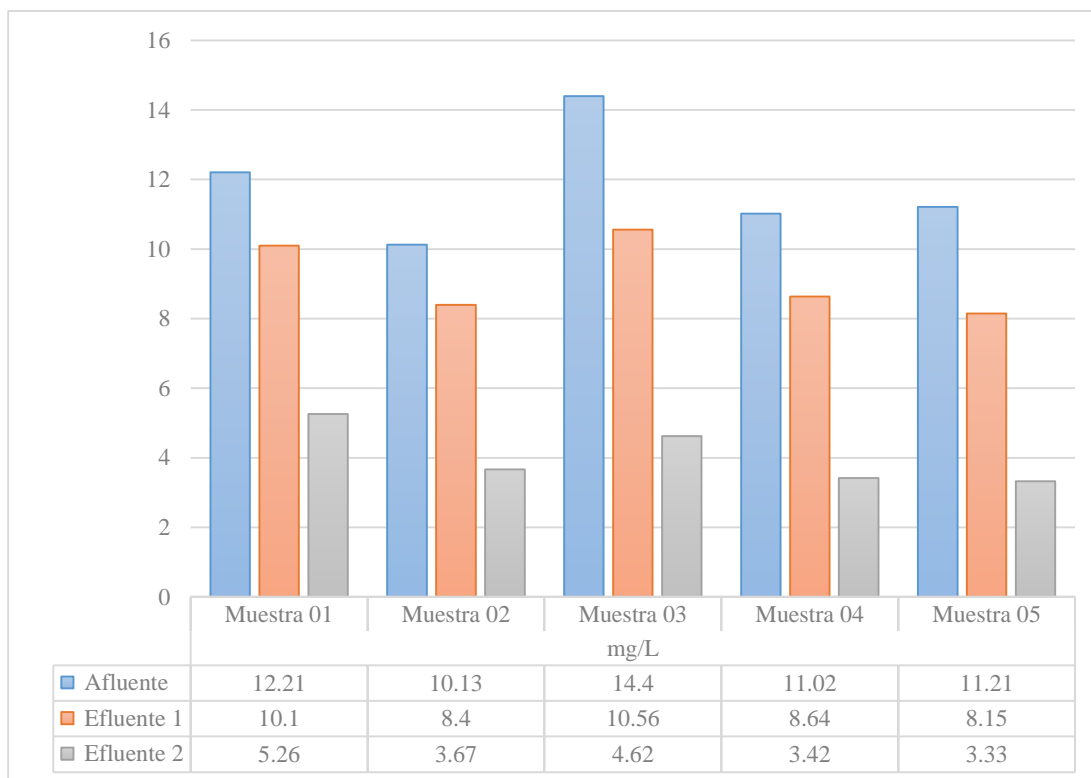


Figura 14. Variación de fosfatos.

Interpretación: La concentración de fosfatos en el afluente en todos los muestreos tiene valores mayores que en el efluente 1 y 2; teniendo mayor concentración en la muestra tres con un valor de 14.4 mg/l y menor en la muestra dos con un valor de 10.13 mg/l. Para el efluente 1 se muestra un valor máximo en la muestra tres con 10.56 mg/l y un mínimo en la muestra cinco con 8.15 mg/l. En el efluente 2 un valor máximo de 5.26 mg/l y un mínimo en la muestra cuatro con 3.33 mg/l. Se muestra claramente un comportamiento de remoción efectiva.

Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

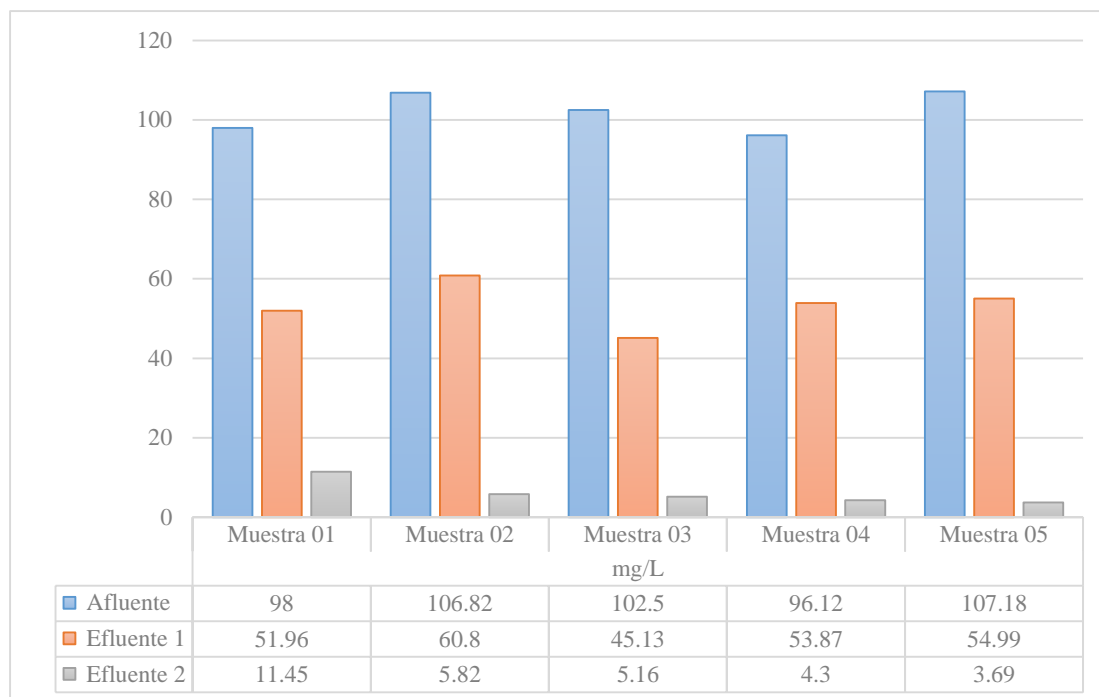


Figura 15. Variación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Interpretación: Las concentraciones de DBO₅ en las muestras 2, 3 y 5; están sobre el LMP (100mg/l) con valores de 106.82 mg/l, 102.5 mg/l, 107.18 mg/l respectivamente; mientras que en las muestras 1 y 4 se muestran valores menores de concentración con 98 mg/l y 96.12 mg/l respectivamente. Se observa que el efluente 1 en todos los muestreos hay una disminución significativa con respecto al afluente, con un valor 60.80 mg/l en la muestra dos y 45.13 mg/l en la muestra tres. En el efluente 2, los valores que van desde 11.45 mg/l en la muestra uno como máximo y 3.69 mg/l en la muestra cinco como mínimo; mostrándose claramente una disminución óptima de remoción con respecto al afluente.

3.1.3. Eficiencia en remoción de los parámetros de todo el sistema

El resultado del valor porcentual de remoción de las muestras 1, 2, 3, 4 y 5 se muestra en tabla y gráficos de líneas para cada parámetro.

Tabla 13

Porcentajes de remoción de los parámetros en todo el período de muestreo evaluado para el efluente final (efluente2)

Parámetro	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
		% de remoción	% de remoción	% de remoción	% de remoción	% de remoción
Turbidez	UNT	83.21%	79.60%	87.65%	82.89%	87.37%
Sólidos totales en suspensión (SST)	mg/l	94.17%	95.31%	94.95%	93.53%	96.15%
Nitratos	mg/l	25.81%	40.00%	28.57%	41.67%	42.86%
Fosfatos	mg/l	56.92%	63.77%	67.92%	68.97%	70.29%
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	88.32%	94.55%	94.97%	95.53%	96.56%

Fuente: tabla 8, 9, 10, 11 y 12.

Porcentaje de remoción de la turbidez

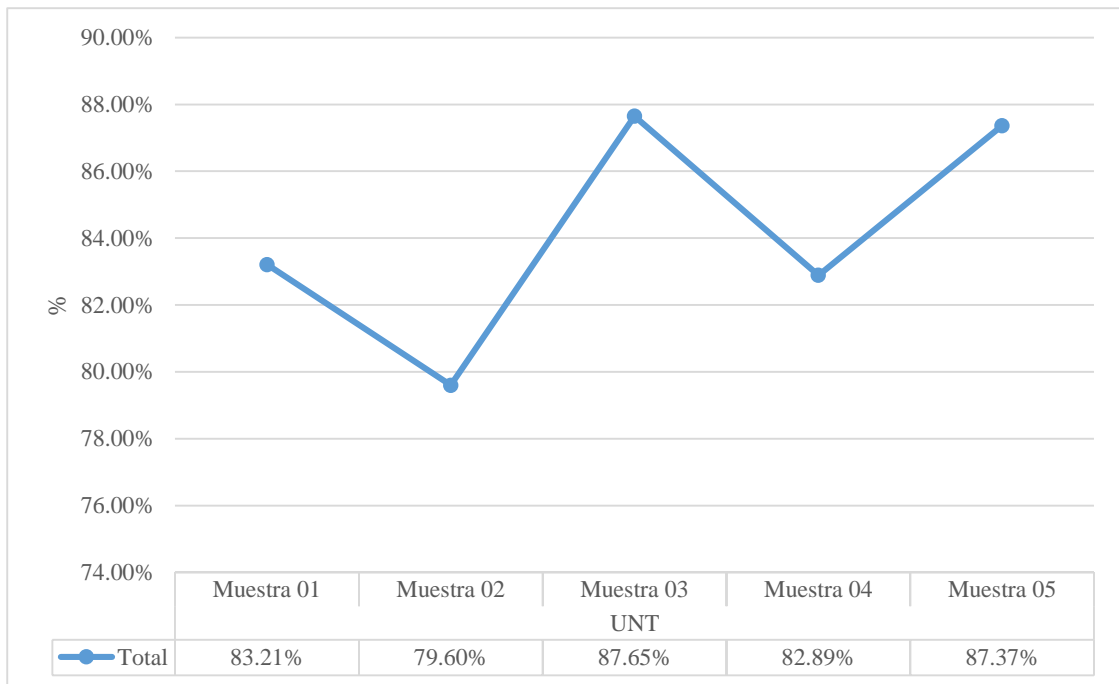


Figura 16. Porcentaje de remoción de turbidez.

Interpretación: Los valores porcentuales en todo el periodo de muestreo presentan un promedio de remoción de 84.14% de turbidez, lo que indica que los lechos de sustrato (grava y confitillo) han permitido retener gran cantidad de partículas sólidas en las biopelículas formadas en su superficie, por la acción bacteriana. Cabe mencionar que los mayores porcentajes de remoción están presentes en la muestra 3 y 5 con 87.65% y 87.37% respectivamente.

Porcentaje de remoción de sólidos totales en suspensión (SST)

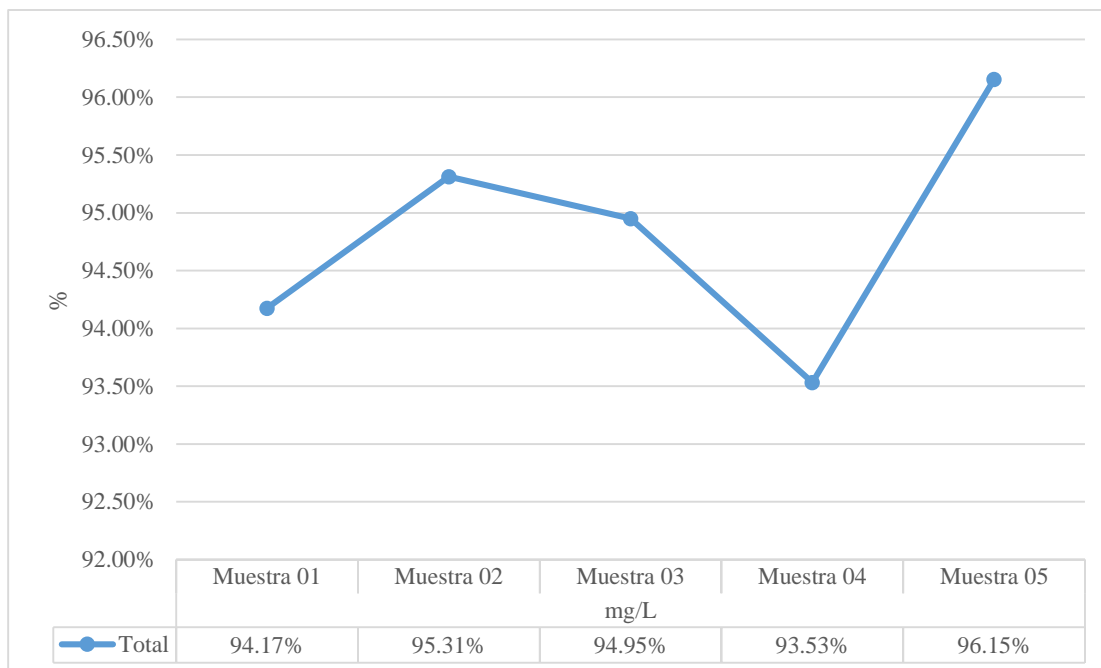


Figura 17. Porcentaje de remoción de sólidos totales en suspensión.

Interpretación: Se observa que para todos los muestreos se presentan altos niveles de remoción, estando sobre el 92%; con un porcentaje máximo de remoción en la muestra 5 con 96.15% y un mínimo de 93.53% en la muestra 4, produciendo en el efluente 2 un aspecto claro y sin presencia visible de sólidos. Hay que recalcar que todo el sistema presenta óptimos resultados de remoción de éste parámetro tal y como se puede observar en el gráfico.

Porcentaje de remoción de nitratos

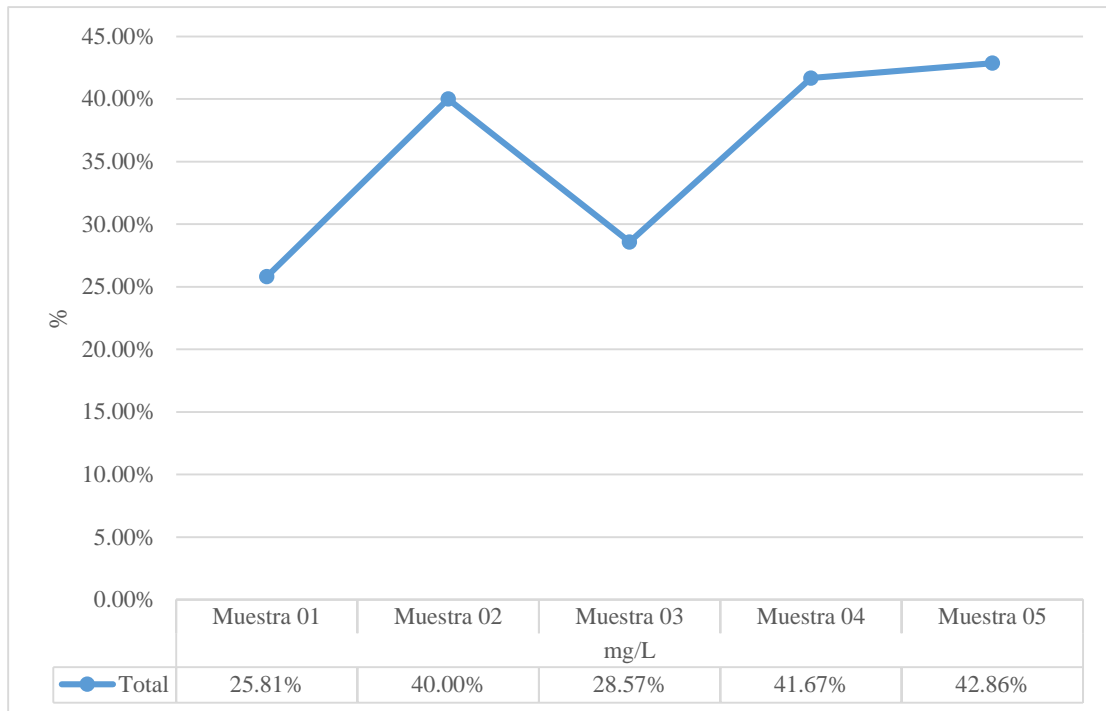


Figura 18. Porcentaje de remoción de nitratos.

Interpretación: En cada uno de los muestreos, los porcentajes de nitratos tienen un valor regular de remoción, con un valor máximo de 42.86% y mínimo de 25.81%, se observa que dichos valores porcentuales en todos los periodos de muestreo son positivas, lo que indica que el sistema presenta condiciones anaerobias importantes dando lugar a la desnitrificación.

Porcentaje de remoción de fosfatos

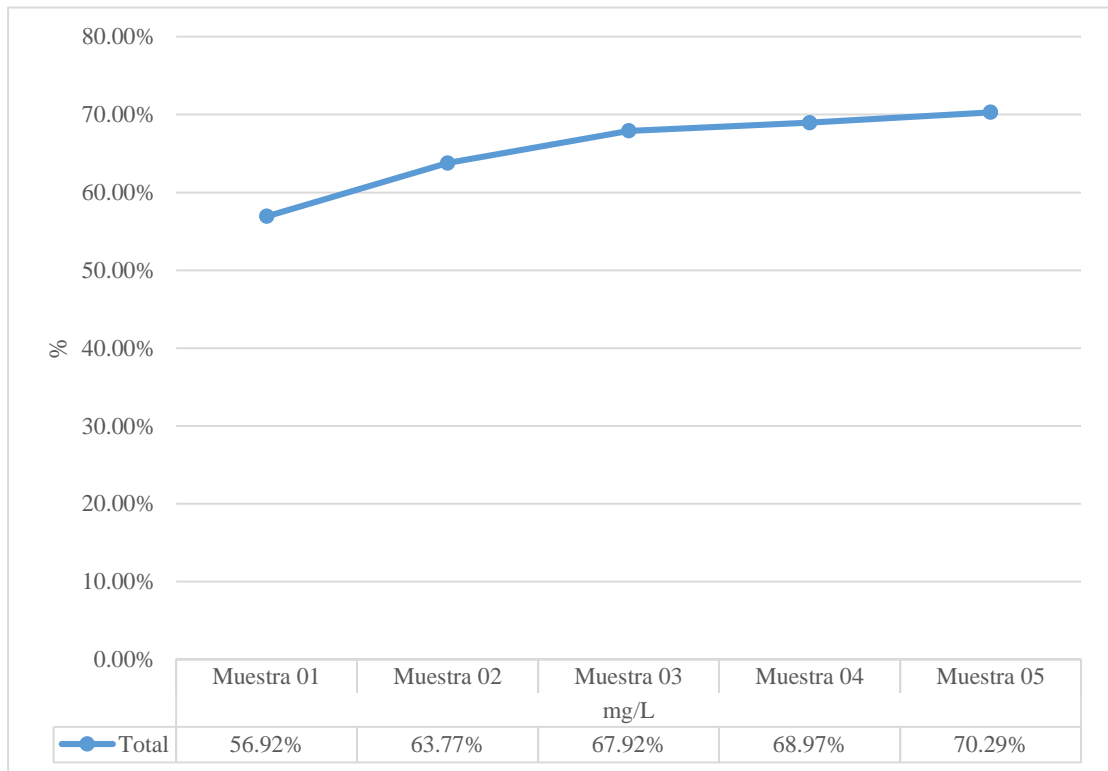


Figura 19. Porcentaje de remoción de fosfatos.

Interpretación: Los resultados obtenidos, evidencian valores porcentuales de remoción efectivos de fosfatos, en este caso en todos los muestreos se supera el 55% de remoción, alcanzando de manera gradual hasta un 70.29% en el último muestreo. Hay que recalcar la efectividad en su remoción.

Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DBO₅)

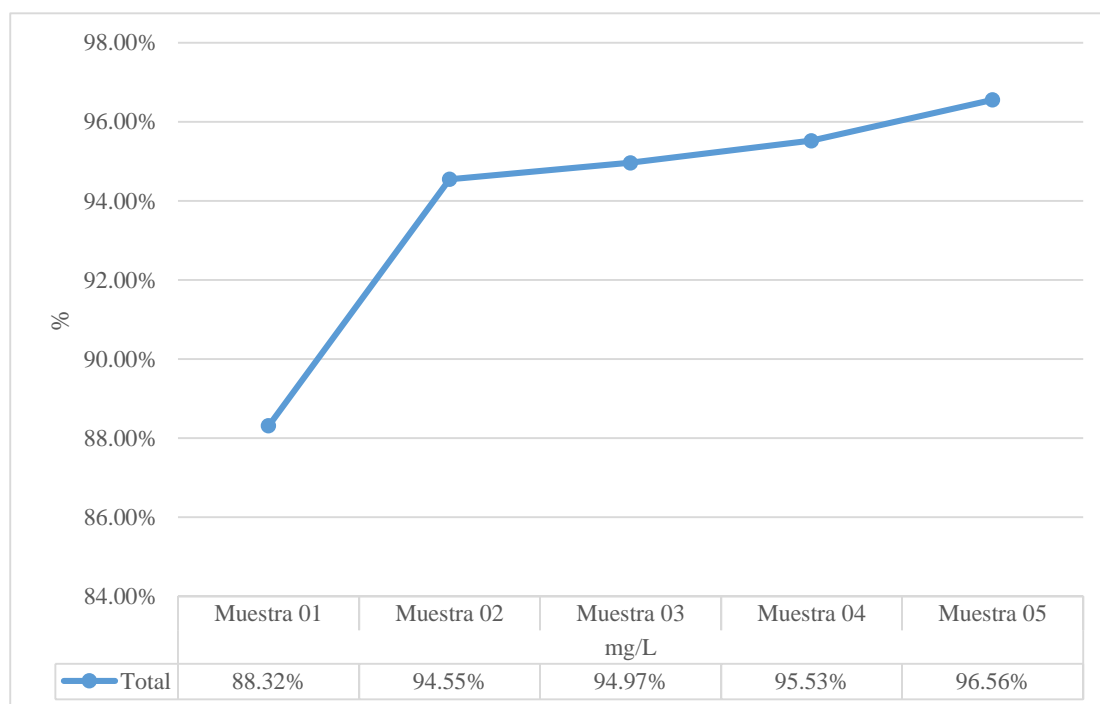


Figura 20. Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica oxígeno (DBO₅).

Interpretación: De acuerdo a los porcentajes obtenidos, se observa que en los muestreos realizados existen altos niveles de rendimiento de depuración de DBO₅, que superan el 93%, excepto el muestreo 1 con 88.32%, siendo aun así una remoción considerable. En el muestreo 5 se alcanza mayor valor porcentual con un 96.56% de remoción. Cabe recalcar que el sistema alcanza niveles óptimos de remoción para éste parámetro.

3.1.4. Comparación de los resultados obtenidos con los LMP o ECA's

Para lograr el objetivo específico tres, fue necesario la comparación de los valores finales con el *DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM que Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, para cuatro de los parámetros (pH, temperatura, sólidos totales en suspensión y DBO₅); los parámetros restantes (turbidez, Nitratos y fosfatos) se tuvo como referencia los Estándares de calidad ambiental (ECA's). A continuación se muestran los gráficos del efluente final (efluente 2) comparándolos con los (LMP) o ECA's según corresponda.

Comparación de valores finales del pH – LMP

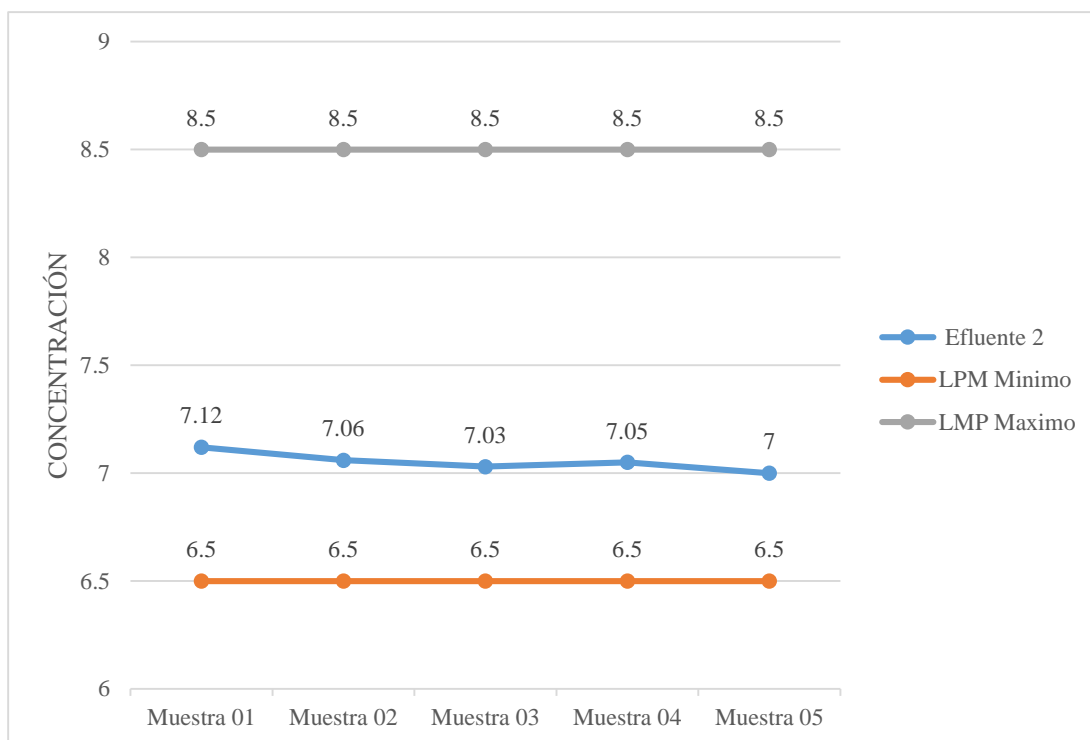


Figura 21. Comparación de valores finales del pH con D.S. N° 003-2010-MINAM.

Interpretación: Se puede apreciar que la concentración mínima de pH se logra en el muestreo 5 con un valor neutro de 7, observándose en todo el periodo de muestreo dentro de los rangos de los LMP que van de 6.5 – 8.5; teniendo un pH ligeramente alcalino.

Comparación de valores finales de temperatura – LMP

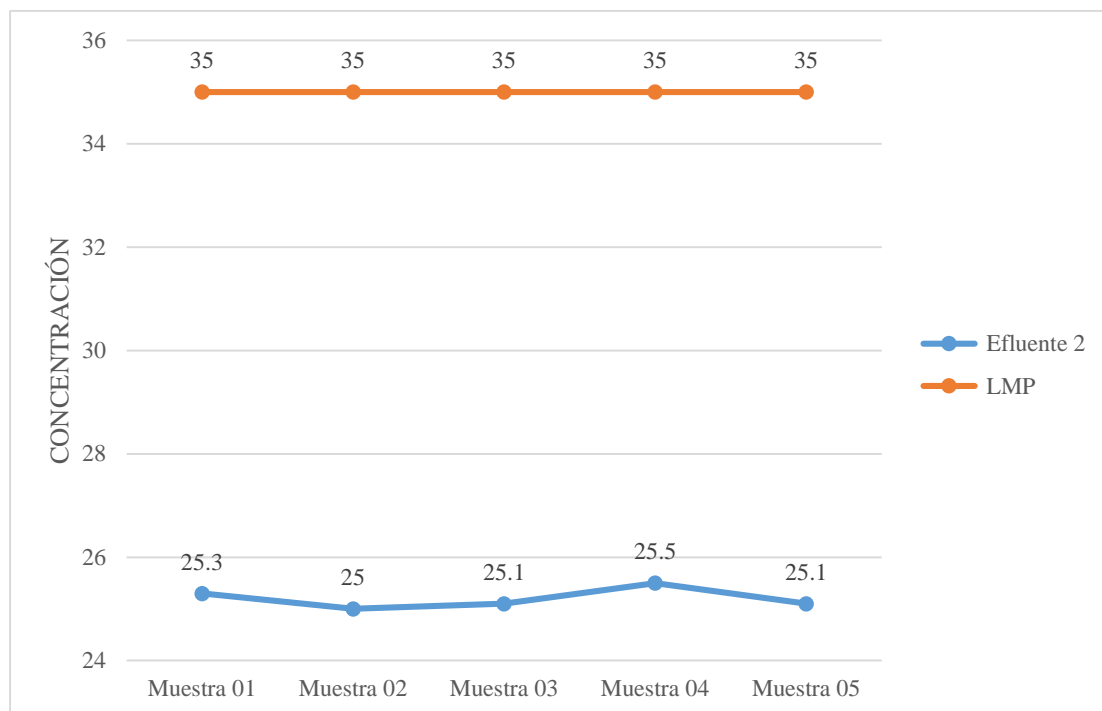


Figura 22. Comparación de valores finales de temperatura con D.S. N° 003-2010-MINAM.

Interpretación: Se puede decir que la temperatura mínima se presenta en el muestreo 2 con un valor de 25 °C y una máxima en el muestreo 4 con 25.5 °C; valores que se encuentran bajo los LMP que están en un rango menor a los 35 °C.

Comparación de valores finales de turbidez – ECA's

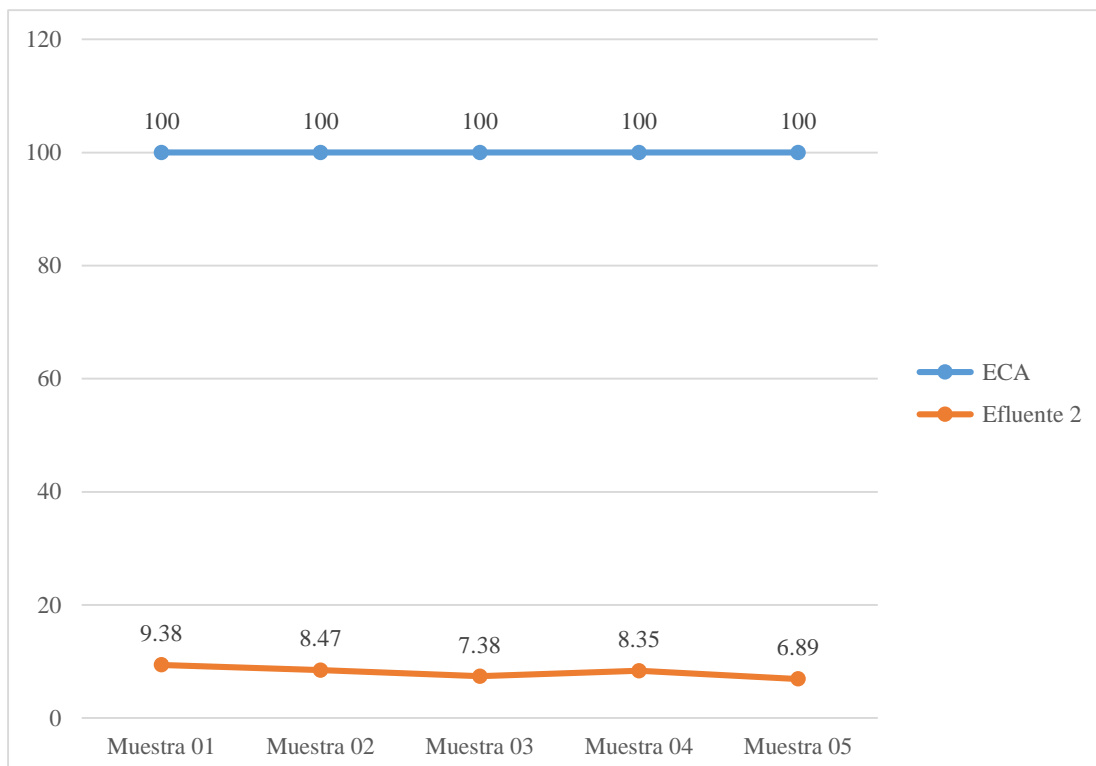


Figura 23. Comparación de valores finales de turbidez con D.S. N° 004-2017-MINAM.

Interpretación: Se puede decir que la turbidez se presenta en el muestreo 9 con un máximo de 9.38 UNT y un mínimo en el muestreo 5 con 6.89 UNT; claramente con valores que se encuentran en un rango inferior en referencia con los estándares de calidad ambiental (ECA's) categoría 1 – poblacional y recreacional.

Comparación de valores finales de sólidos totales en suspensión (SST) – LMP

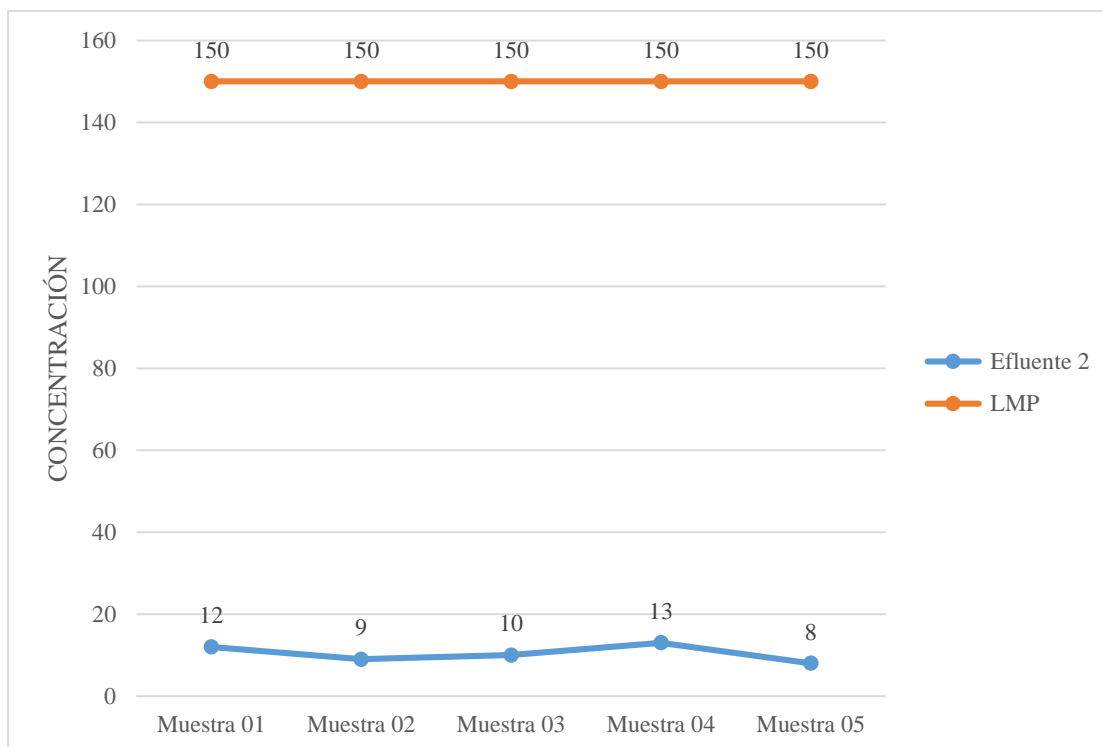


Figura 24. Comparación de valores finales de sólidos totales en suspensión (SST) con D.S. N° 003-2010-MINAM.

Interpretación: Se puede observar valores de remoción efectivos de sólidos totales en suspensión con un valor máximo de 12 mg/l y un mínimo de 8 mg/l; valores que están debajo de los LMP con un rango de 150 mg/l. Mostrándose así la efectividad de remoción de todo el sistema.

Comparación de valores finales de nitratos – ECA's

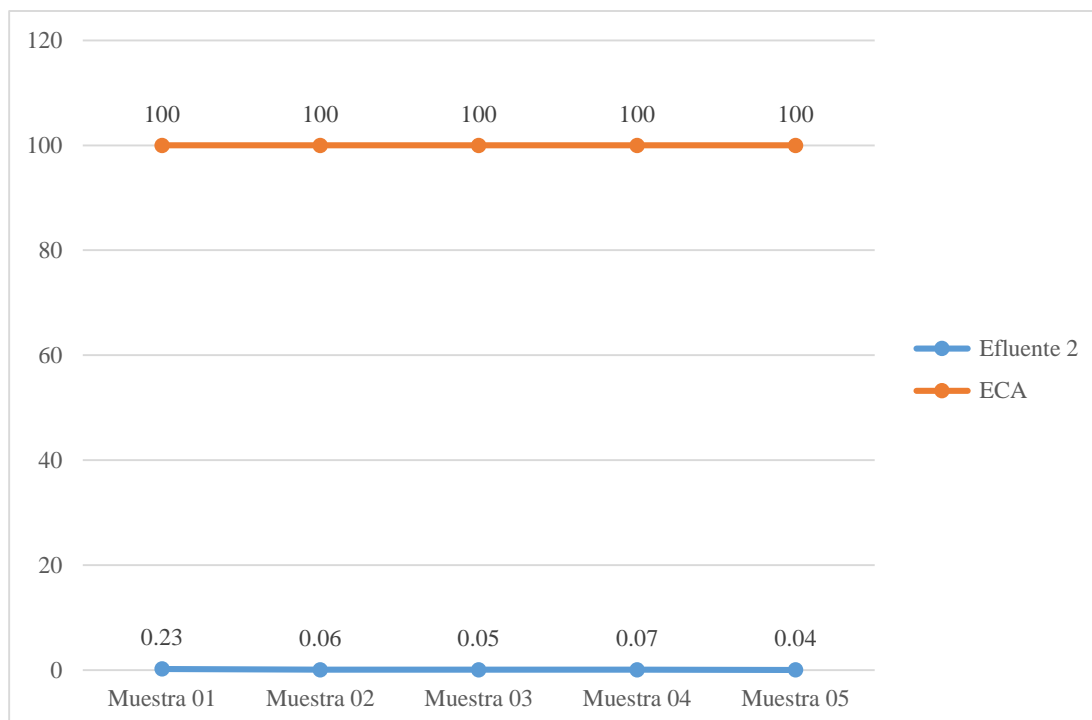


Figura 25. Comparación de valores finales de nitratos con D.S. N° 004-2017-MINAM.

Interpretación: Se puede observar valores de remoción de nitratos con un valor máximo de 0.23 mg/l y un mínimo de 0.04 mg/l; valores que están debajo de los estándares de calidad ambiental (ECA's) con un rango de 100 mg/l.

Comparación de valores finales de fosfatos – ECA's

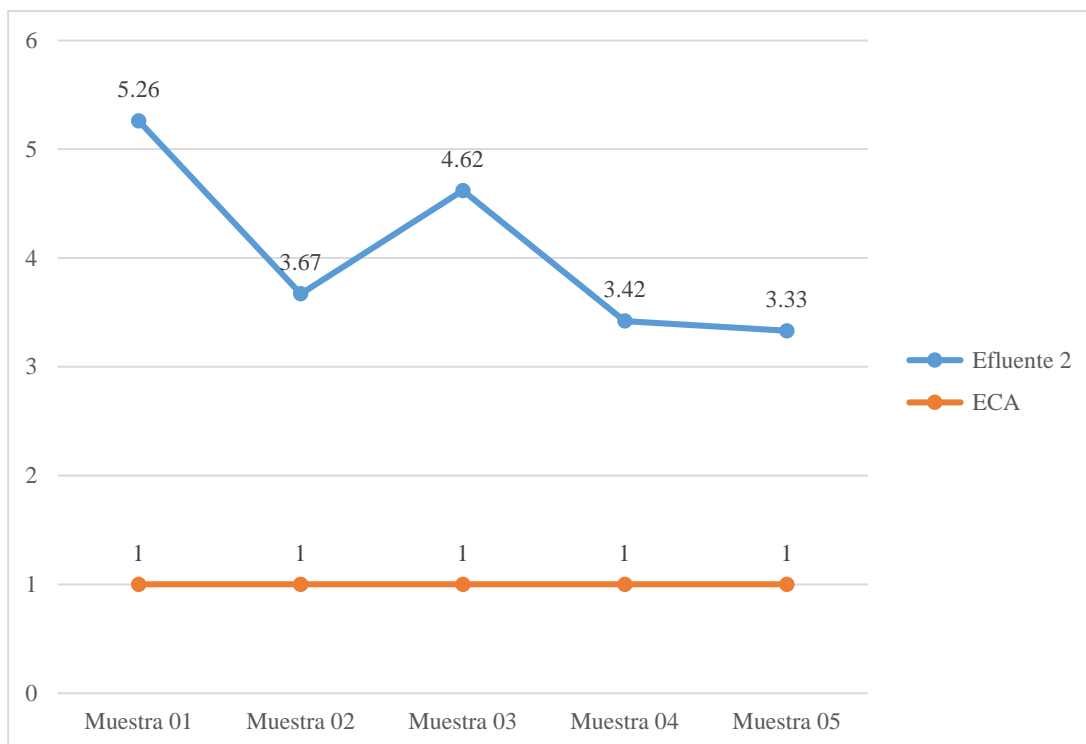


Figura 26. Comparación de valores finales de fosfatos con D.S. N° 002-2008-MINAM.

Interpretación: Se puede observar valores de remoción de fosfatos con un valor máximo de 5.26 mg/l y un mínimo de 3.33 mg/l; valores que están por encima de los estándares de calidad ambiental (ECA's) con un rango de 1 mg/l, a pesar que la medición se realizó en el cuerpo emisor y no en el cuerpo receptor como lo indica la norma (ECA's).

Comparación de valores finales de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) – LMP

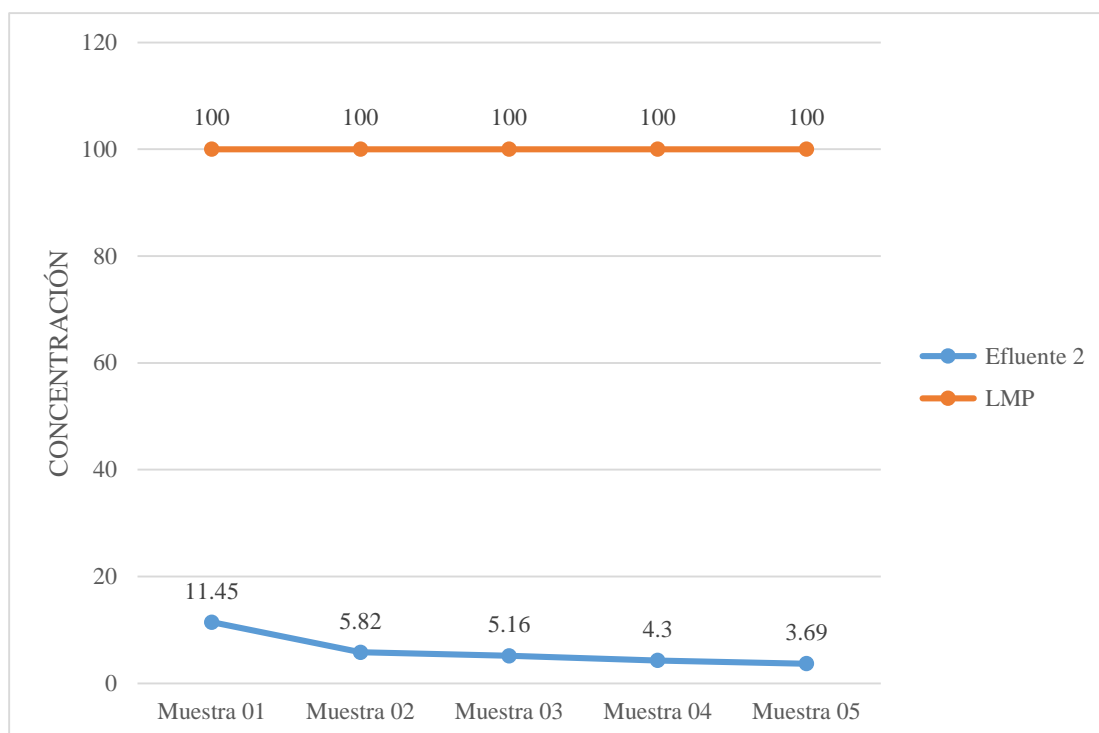


Figura 27. Comparación de valores finales de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con D.S. N° 003-2010-MINAM.

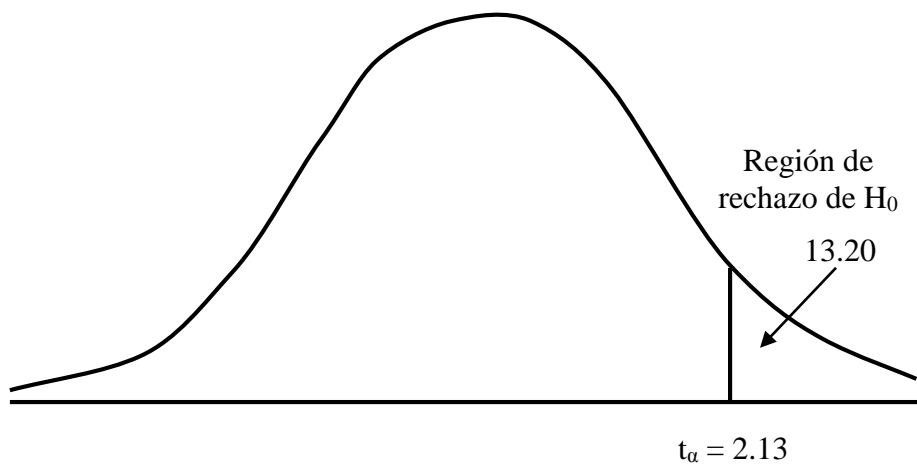
Interpretación: Se puede decir que los valores de depuración de la DBO₅ tienen un máximo de 11.45 mg/l en el muestreo 1 y un mínimo de 3.69 mg/l en el muestreo 5; observándose claramente en todo el periodo de muestreo una disminución gradual de la DBO₅; cumpliendo así con la normatividad estipulada en un rango de 100 mg/l; cabe recalcar la alta efectividad de remoción de DBO₅.

3.1.5. Evaluación para contrastación de la hipótesis

Tabla 14

Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a turbidez

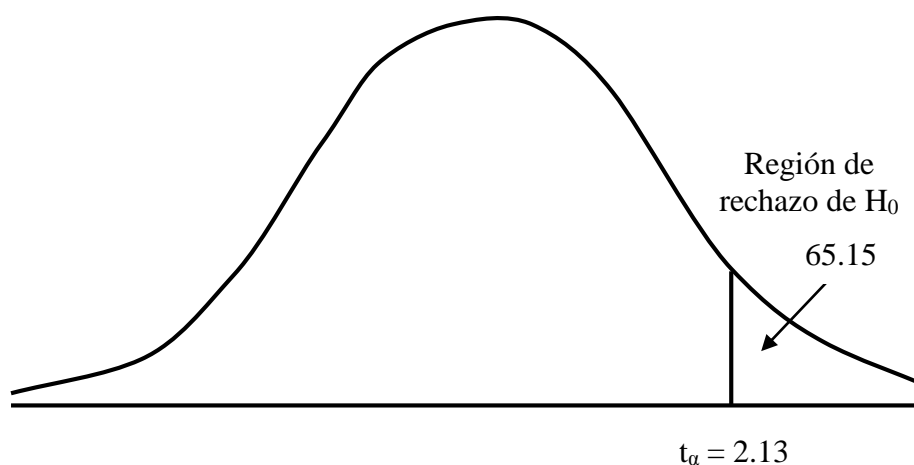
	Entrada	Salida
Media	52.10	8.09
Varianza	50.38	0.96
Desviación Estándar	7.10	0.98
Hipótesis Nula (H_0)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis Alterna (H_1)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	4.00	
Estadístico t	13.20	
Valor crítico de t (una cola)	2.13	



DECISIÓN: Con un confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 14, el valor estadístico t calculado es 13.20, siendo éste mayor que el valor crítico t de tabla cuyo valor es 2.13; se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el sistema integrado por ambas unidades experimentales remueve la concentración de turbidez, aceptando la hipótesis alterna.

Tabla 15
Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a sólidos totales en suspensión (SST)

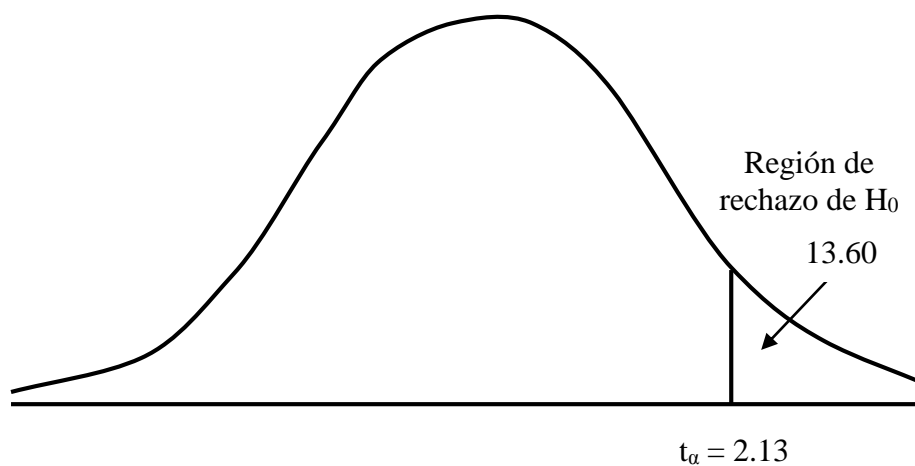
	Entrada	Salida
Media	201	10.4
Varianza	41	4.3
Desviación Estándar	6.40	2.07
Hipótesis Nula (H_0)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis Alterna (H_1)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	4.00	
Estadístico t	65.15	
Valor crítico de t (una cola)	2.13	



DECISIÓN: Con un confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 15, el valor estadístico t calculado es 65.15, siendo éste mayor que el valor crítico t de tabla cuyo valor es 2.13; se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el sistema integrado por ambas unidades experimentales remueve la concentración de sólidos totales en suspensión, aceptando la hipótesis alterna.

Tabla 16
Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a fosfatos

	Entrada	Salida
Media	11.79	4.06
Varianza	2.67	0.71
Desviación Estándar	1.63	0.84
Hipótesis Nula (H_0)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis Alternativa (H_1)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	4.00	
Estadístico t	13.60	
Valor crítico de t (una cola)	2.13	

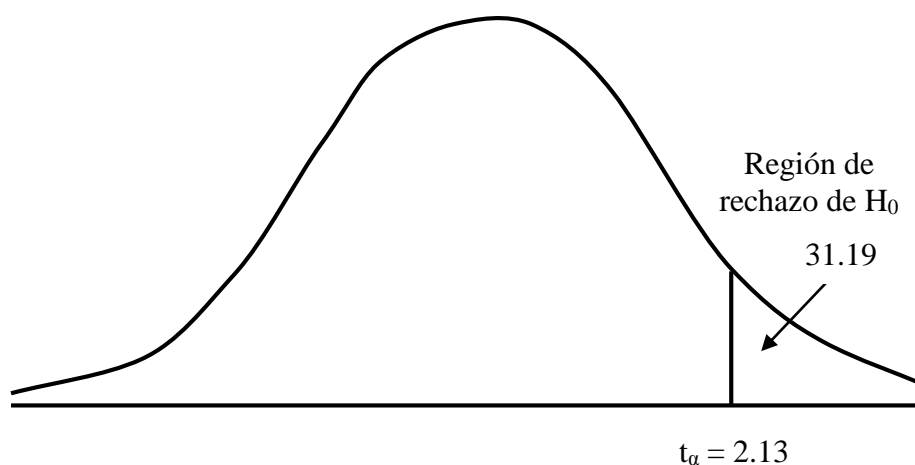


DECISIÓN: Con un confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 16, el valor estadístico t calculado es 13.60, siendo éste mayor que el valor crítico t de tabla cuyo valor es 2.13; se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el sistema integrado por ambas unidades experimentales remueve la concentración de fosfatos, aceptando la hipótesis alterna.

Tabla 17

Prueba T para ingreso y salida de muestras respecto a demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

	Entrada	Salida
Media	102.12	6.08
Varianza	25.20	9.66
Desviación Estándar	5.02	3.11
Hipótesis Nula (H ₀)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis Alternativa (H ₁)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	4.00	
Estadístico t	31.19	
Valor crítico de t (una cola)	2.13	



DECISIÓN: Con un confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 17, el valor estadístico t calculado es 31.19, siendo éste mayor que el valor crítico de tabla cuyo valor es 2.13; se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el sistema integrado por ambas unidades experimentales remueve la demanda bioquímica de oxígeno, aceptando la hipótesis alterna.

3.2. Discusión

Para la caracterización del agua residual se obtuvo valores de nitratos que oscilan entre 0.31 mg/l – 0.04 mg/l, con un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y con una variedad de planta. Sin embargo, para Badillo et al. (2016), incluye en su estudio microorganismos eficientes para la remoción de nitrógeno como nitrato, éstos a su vez no variaron en el humedal que no contenía los microorganismos eficientes (11,0mg/l) en comparación con la muestra inicial, mientras que el humedal con microorganismos eficientes (0,002mg/l) disminuyó debido a que el cultivo mixto de microorganismos es capaz de reducir amonio, nitritos y nitratos en el agua residual. Así mismo, se logró una remoción de turbiedad como máximo de 9.38 UNT y mínimo de 6.89 UNT logrando una disminución significativa y a su vez considerando un parámetro importante acorde al uso que esté destinado según la normatividad peruana vigente. Para Badillo et al. (2016), lograron una disminución de la turbiedad en el agua tratada obteniendo valores de 6,11 UNT y 11,2 UNT, usando para su estudio humedal artificial subsuperficial de flujo vertical, conteniendo tres tipos de plantas, indicaron que a pesar de su remoción, no es un parámetro de relevancia según la normatividad consultada, no radica un valor permisible respecto a este parámetro.

De acuerdo a los resultados se tuvo porcentajes de remoción de fosfatos en rangos de 56.92% - 70.29%, demostrando que el sistema de tratamiento remueve gran parte de la concentración de fosfatos, pero no suficientes para la normatividad peruana consultada, se usó una sola unidad experimental, un solo tipo de planta y la evaluación se hizo en épocas no especificadas. Sin embargo, Romero et al. (2009), incluye en su tesis la evaluación del fósforo total, en la época de estiaje, la concentración de la muestra que ingresó al sistema fue de 0.9 mg/l de la cual se remueve 3.13 % en el primer humedal (0.87 mg/l), en el caso del segundo humedal, la concentración del fósforo total aumenta a 0.9 mg/l, al final del sistema, se presenta una remoción total de 21.87 % (0.7 mg/l); en la época de lluvias, la concentración del fósforo total presentó una concentración de 1.96 mg/l antes de su entrada al sistema y se removió 40.35 % al final del tratamiento.

Durante el estudio se logró un porcentaje de remoción de 93.99% de DBO₅, mostrando una efectividad en la remoción de éste parámetro, usando el método de dilución para su análisis, se estableció tres puntos de muestreo. Sin embargo, Chuchón y Aybar (2005), obtuvo una

remoción de 86.2 % usando el método respirométrico para determinar la DBO₅, estableciendo siete puntos de muestro.

Los resultados promedios obtenidos de DBO₅ fue de 6.08 mg/l, en SST 10.4 mg/l, resultados evaluados de acuerdo a la normatividad peruana vigente (D.S. N° 003- 2010 – MINAM / LMP), la norma indica que los LMP en DBO₅ es 100 mg/l, en SST es 150 mg/l; contó con un tratamiento primario (tanque imhoff) y tratamiento secundario (humedal artificial), además que la tesis no solo fue una propuesta de diseño, también se quiso obtener valores de eficiencia reales en todo el sistema. Sin embargo, Lapa (2014), señala que los valores obtenidos en la evaluación de eficiencia de remoción en el sistema de humedal artificial son estimaciones realizadas en función de que el proyecto es una propuesta de diseño, obteniendo para DBO₅ 14.86 mg/l, en SST 66.80 mg/l y fueron evaluados en función del D.S. N° 002 – 2008 – MINAM /LMP, la norma indica que los LMP en DBO₅ es 15 mg/l, en SST es 150 mg/l, ésta propuesta contó con tratamientos preliminares (cámara de rejillas y desarenador), tratamiento primario (tanque imhoff), tratamiento secundario (humedal artificial) y un lecho de secados.

Los valores del efluente que salen del humedal artificial tiene una temperatura de 25 a 25.5 °C, la turbidez de 9.38 UNT a 6.89 UNT, la DBO₅ de 11.45 mg/l a 3.69 mg/l y SST de 13 mg/l a 8 mg/l, la unidad experimental fue de flujo subsuperficial horizontal, con *Phragmites australis* (carrizo) y origen de agua residual municipal de toda la población. Sin embargo, para Medina y López (2013), obtuvieron una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad varía entre 4,5 y 15 UTN, la DBO₅ varía entre 161 y 97 mg/l y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/l, con planta *Arundo donax* (caña brava) y origen del agua residual doméstica de dos casas.

Para la caracterización del agua residual se estableció el análisis de 07 parámetros: pH, temperatura, turbidez, sólidos totales en suspensión (SST), nitratos, fosfatos y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), con el uso de dos unidades experimentales, tanque imhoff y humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con *Phragmites australis* (carrizo) y se colocó dos tipos de sustrato, grava y confitillo, que fueron el soporte para el enraizamiento de las plantas. Para Flores (2014), los parámetros estudiados en su investigación incluyó a coliformes fecales y excluyó nitratos y fosfatos; además que usó solo un humedal artificial

de flujo superficial con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y colocó como sustrato grava y arena para el crecimiento de los microorganismos.

En el estudio se obtuvo remociones de 94.82 % para sólidos totales en suspensión (SST) y 93.99% para DBO₅, con el uso tanque imhoff y un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal a escala, un tipo de planta *Phragmites australis* (carrizo) y se usó como sustrato grava y confitillo. Sin embargo, Montalván y López (2017), incluyó en su tesis coliformes termotolerantes (82.54%) y DQO (64.98%) así mismo obtuvo remociones de 90.47% para sólidos totales en suspensión (SST) y 66.96% para DBO₅, con el uso de un humedal artificial a escala real de flujo subsuperficial vertical, dos tipos de plantas *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) y usaron como sustrato arena, tierra negra, grava media y grava fina.

Los resultados obtenidos en la investigación del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal para la remoción de las aguas residuales municipales del distrito de Habana, fueron valores promedios de 7.05 para pH, 25 °C para temperatura, 8.09 UNT para turbidez, 10.4 mg/l para SST, 0.09 mg/l para nitratos, 4.06 mg/l para fosfatos y 6.08 mg/l para DBO₅ empleando *Phragmites australis* (carrizo). Sin embargo, Juárez (2017), en su investigación usó un humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), obteniendo resultados de 129.0 mg/l en DBO₅ y; con ligero incremento en parámetros con valores de 27.2 °C en temperatura, 7.6 unidades de pH, 1.9 mg/l en nitratos y 25.9 mg/l en fosfatos, además que incluyó el análisis de DQO (151,7 mg/l), Sólidos totales disueltos (1 220,3 mg/l) y oxígeno disuelto (3.3 mg/l).

CONCLUSIONES

El sistema integrado por dos unidades experimentales a escala, un tanque imhoff y un humedal; por su alta eficiencia, bajos costos, facilidad en su operación y mantenimiento, son aptos en zonas rurales que carezcan de redes de alcantarillado público.

La caracterización final de las aguas residuales municipales han sido eficientes para valores de pH que oscilan entre 7.12 y 7.00, para temperatura entre 25.5 °C y 25.0 °C, para turbidez valores entre 9.38 UNT y 6.89 UNT, para SST valores entre 13 mg/l y 8 mg/l, para nitratos los valores oscilan entre 0.23 mg/l y 0.04 mg/l, para fosfatos valores entre 5.26 mg/l y 3.33 mg/l y para DBO₅ valores que oscilan entre 11.45 mg/l y 3.69 mg/l.

Los resultados promedios porcentuales de remoción en el sistema integrado, se obtuvo para turbidez de 84.14%, para sólidos totales en suspensión 94.82%, para nitratos 35.78%, para fosfatos 65.57% y para DBO₅ 93.99%, en resumen alcanzó una eficiencia que oscila entre en 35% al 95% en todos los parámetros caracterizados.

Los resultados obtenidos en el sistema integrado en todo el periodo de investigación, cumplieron con los Límites Máximos Permisibles para cuatro de los siete parámetros evaluados (pH, temperatura, sólidos totales en suspensión y demanda bioquímica de oxígeno), resultados que nos muestra la efectividad del tanque imhoff-HA como sistema de tratamiento para aguas residuales municipales confirmando así la importancia de estas dos unidades experimentales trabajando juntas como tratamiento primario y tratamiento secundario.

El trabajo de investigación por un sistema integrado de tanque imhoff y humedal artificial es eficiente para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana.

RECOMENDACIONES

En la construcción de los humedales se debe respetar los parámetros de diseño, en especial la pendiente, ya que este determinará el tiempo de retención hidráulica en el sistema.

Se recomienda que para una próxima investigación se lleve un registro de características de la vegetación emergente como altura, densidad de la especie durante el período de arranque y todo el período de funcionamiento del HAFSS, a fin de conocer con mayor detalle la influencia de estas características en el rendimiento del sistema de tratamiento.

Evaluar otros tipos de parámetros del efluente tanto químicos como biológicos, como aceites y grasas, y patógenos, dado que se espera que los mecanismos de remoción de materia orgánica sean válidos también para estos dos parámetros.

Evaluar fósforo total en una nueva investigación, acordes a la nueva normatividad peruana D.S. N° 004–2017–MINAM aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (ECA's).

A la Facultad de Ecología, implementar programas de estudios con tratamiento de aguas residuales municipales, para contribuir a investigaciones similares que puedan llegar a generar nuevos datos con la investigación, indispensables para este tipo de proyecto.

A las autoridades competentes que están involucradas en la normatividad peruana encargadas de establecer los límites máximos permisibles para aguas residuales domésticas o municipales, tomar en cuenta parámetros como turbidez, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.; que contribuyan a la investigación de proyectos de esta naturaleza.

A las municipalidades encargadas de velar por el tratamiento de las aguas residuales domésticas o municipales, se recomienda el uso de un humedal artificial como parte del tratamiento secundario por las ventajas que ésta tiene como sus bajos costos en inversión, operación y mantenimiento, operan sin costo energético, el aporte importante al medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badillo, L., Carvajal, C., Plata, D. y Fernández, D. (2016). Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6232803.pdf>
- CENTA (2014). Centro de nuevas tecnologías del agua, Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Recuperado de: <http://www.centa.es/uploads/publicaciones/doc4ef31d63e1252.pdf>
- Chuchón, S. y Aybar, C. (2005). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”. Ayacucho, Perú.
- Crites, R., Tchobanoglous G. (2000), Tratamiento de Aguas residuales en pequeñas poblaciones. Editorial McGraw-Hill. Bogotá, Colombia.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. . Cochabamba, Bolivia.
- EPA (2000). Agencia de protección ambiental, folleto informativo de tecnología de aguas residuales, humedales de flujo libre superficial. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf
- Fair, Gordon y otros. (1988). Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. México D.F., México.
- Fernández, J. (2014). Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. Recuperado de: <http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/>
- Ferrero, J. (1974). Depuración Biológica de las Aguas Residuales. Madrid-España.
- Flores, M. (2014). “Aplicación del humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas domésticas, Moyobamba – San Martín”. San Martín, Perú.
- García, J. y Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Cataluña. España.

- García, J. (2004). Tesauro de ingeniería ambiental y sanitaria, 2004. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/manuales/tesa/teses.pdf>
- Hernández Muñoz, A., Hernández Lehmann, A., Galán Martínez, P. (1996). Manual de depuración de Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes. Madrid: PARANINFO S.A.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M, y Von Muench, E. (2011). Revisión Técnica de Humedales Artificiales: de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Eschborn: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, Programa de Saneamiento Sostenible.
- INEI. (2007). Instituto nacional de estadística e informática. Demografía y tasa de crecimiento. Recuperado de: <https://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/#>
- Juarez, L. (2017). Evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrófita flotante, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba 2017. San Martín, Perú.
- Lapa, R. (2014). Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la Ciudad Universitaria – UNSCH. Ayacucho, Perú.
- Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Lin, D. (2007). Cálculo de agua y aguas residuales. Michigan, USA.
- Llagas, W. y Guadalupe E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista de Instituto de Investigaciones FIGMM. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf.
- Mara, D. y Cairncross, S. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Medina, F. y López, E. (2013). “Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el Barranco del Sector de Ucguglla, de la Ciudad de Moyobamba 2013”. San Martín, Perú.
- Miglio, R. (2003). "Sistemas de tratamiento de aguas residuales con el uso de plantas acuáticas". Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- Montalván, P y López, J. (2017). “Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas, Habana 2015”. San Martín, Perú.
- OPS (2005). Organización panamericana de la salud, guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/163esp-diseno-ti.pdf>
- Osnaya, M. (2012). Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Oaxaca, México.
- Palacios, F. (1991). Proyecto Ecológico e hidráulico de Tratamiento de Aguas Residuales. Lima-Perú.
- Patiño, J. y Zhinín, F. (2011). Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites Australis* y *Cyperus Papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel. Azuay, Ecuador.
- R.S. Ramalho (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. España: Editorial Reverté, S.A.
- Rigola, M. (1990). Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales. España: Marcombo, S.A.
- RNE. (2006). Reglamento nacional de edificaciones, norma OS 090. Recuperado de: <http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Rolim, M. (2000). "Sistemas de Lagunas de Estabilización". Santa Fe Bogotá-Colombia.
- Romero, J. (2000). “Tratamiento de aguas residuales”. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Romero, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2013). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., 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*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sáenz R. (2005). *Modernización y Avances en el Uso de Aguas Negras para el Irrigación Intercambio de Aguas Uso Urbano y Riego*. Asesor de la División de Salud y Ambiente OPS/ OMS. Riego y Salud.
- Sánchez, D. (2011). *Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales*. España.
- Tchobanoglous, G. (1996). *Desechos sólidos. Principios de ingeniería y administración*. Ed. McGraw-Hill, España.
- Villaruel, C. (2005). *Tratamiento terciario del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial*. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Vymazal, J. (2007). *Eliminación de nutrientes en varios tipos de humedales artificiales*. *Ciencia del ambiente total*. USA.

ANEXOS

Anexo 1. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

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 refrendada 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 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 5º.- 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 6º.- 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 7º.- 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 en Suspensión	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 Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 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 Nº 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 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º 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 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 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 Nº 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 Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- 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 Nº 043-2003-PCM.

Artículo 2º.- 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 3º.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4º.- 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

Anexo 2. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (Categoría 3)

377222


NORMAS LEGALES
El Peruano
Lima, jueves 31 de julio de 2008

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
Jefe (e)
Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

El Peruano

DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,00094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O ₃)	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL.

* **Área Aprobada:** Áreas de dónde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

** **Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

*** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

Anexo 3. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (Categoría 1 – subcategoría b y 3)

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

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

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{\text{CA bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Niquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniac Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniac total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacoloro y Heptacoloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

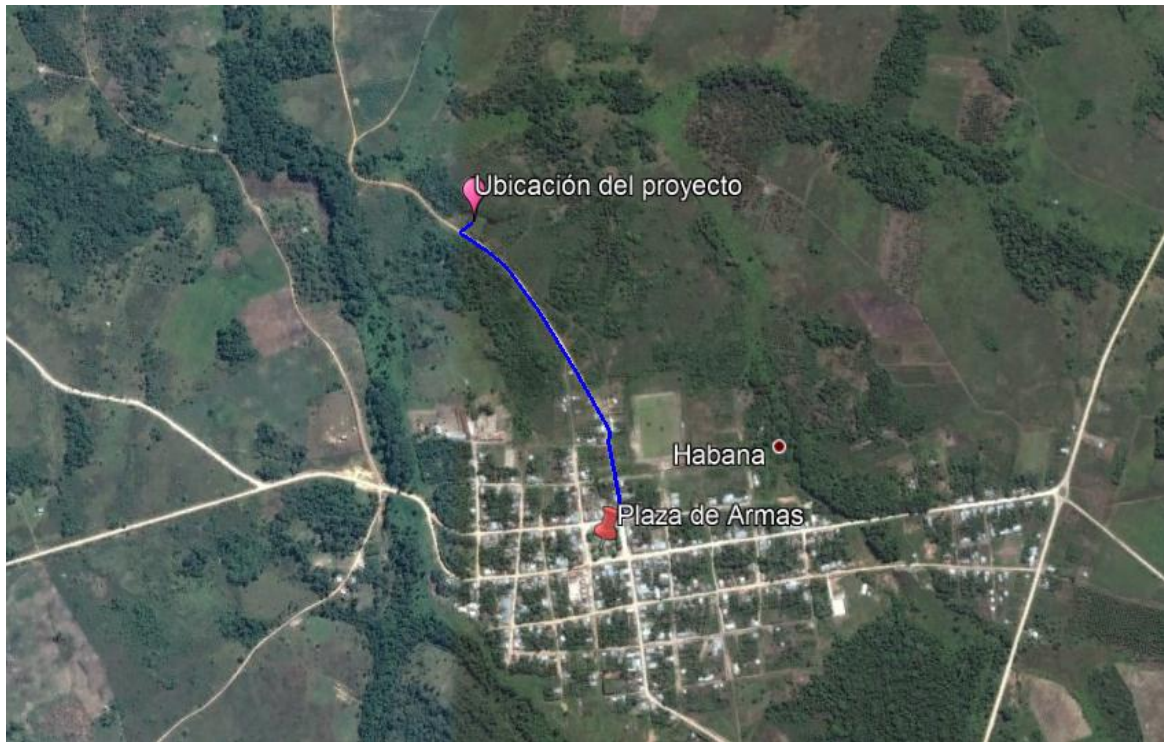
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

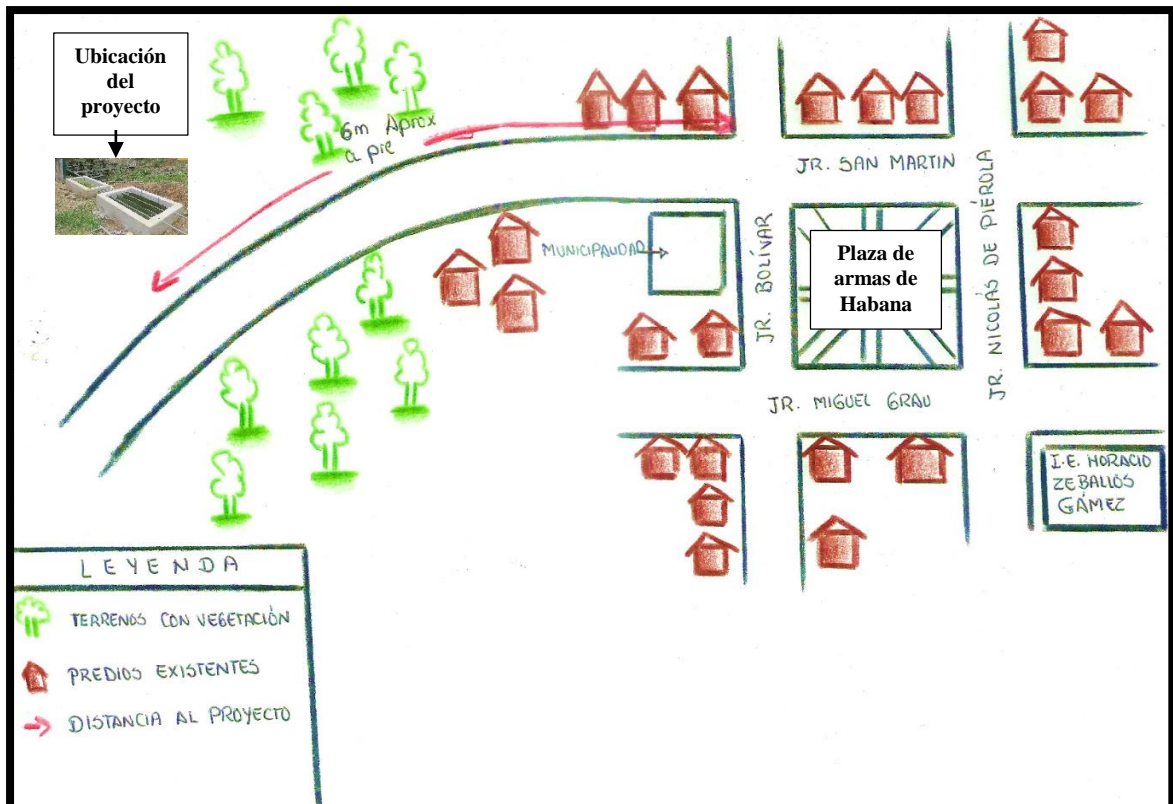
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Anexo 4. Panel fotográfico



Fotografía 1. Mapa de ubicación del tanque imhoff-HA en el distrito de Habana.



Fotografía 2. Croquis de la ubicación del tanque imhoff-HA.



Fotografía 3. Construcción del tanque imhoff –HA.



Fotografía 4. Instalación de plantones



Fotografía 5. Distribución del afluente en el tanque imhoff



Fotografía 6. Distribución del agua residual al humedal artificial luego del tanque imhoff.



Fotografía 7. Toma de muestras de agua de ingreso al tanque imhoff para análisis en el laboratorio.



Fotografía 8. Toma de muestra de agua de salida del humedal artificial para análisis en el laboratorio.



Fotografía 9. Agua de salida del humedal artificial.



Fotografía 10. Etiquetado de muestras.



Fotografía 11. Comparación del agua residual; afluente (izquierda), efluente 1 (centro) y efluente 2 (derecha).



Fotografía 12. Medición de pH.



Fotografía 13. Medición de temperatura.



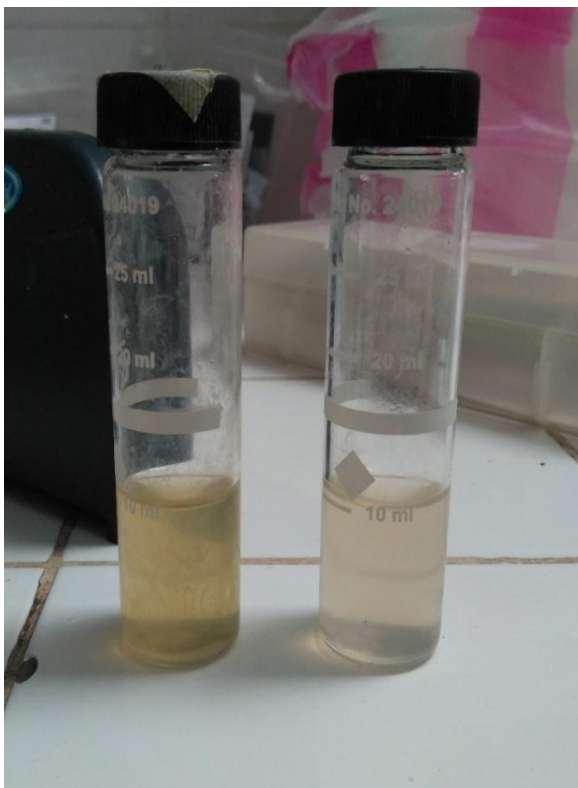
Fotografía 14. Medición de turbidez.



Fotografía 15. Medición de sólidos totales en suspensión.



Fotografía 16. Medición de fosfatos.



Fotografía 17. Medición de nitratos.



Fotografía 18. Medición de DBO_5 .

Anexo 5. Planos

