

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
CONTAMINANTES DEL AFLUENTE DOMÉSTICO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemma minor* EN EL
ANEXO EL MOLINO, DISTRITO DE CHACHAPOYAS,
PROVINCIA DE CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO DE
AMAZONAS 2016”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Autores:

Br. CHUQUIBALA CHECAN, Mervin

Br. SÁNCHEZ SALÓN, Hipattia Natalí

Asesor: Dr. GARAY ROMÁN, Juan Manuel

CHACHAPOYAS – PERÚ

2017

DEDICATORIA

A Dios, a la memoria de mi amada Madre doña Clementina que a pesar de su ausencia a mi lado es una de las razones más sublimes para seguir adelante, mi Padre don Joel y mis Hermanos Jean y Beimer, les dedico con mucho amor y cariño quienes son las joyas más preciadas que poseo en esta tierra y por su aliento y apoyo para la realización de la presente.

Mervin CHUQUIBALA CHECAN

Dedico este trabajo, a mi pequeña hija Zoe Nathyel por estar siempre presente en mi vida.

Hipattia Natalí SÁNCHEZ SALÓN

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y guiar mi caminar por el sendero de la vida.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional durante mi etapa de realización profesional, por enseñarme que todos los ciclos deben cerrarse y nuevos caminos deben emprenderse en este corto respiro que es la vida.

A mi Asesor Dr. Juan Manuel Garay Román, y a los docentes de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, por la orientación y tiempo dedicados en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y principalmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

A todas las demás personas que hicieron posible la realización de la presente tesis.

Mervin y Hipattia Natalí

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. Policarpio CHAUCA VALQUI
Rector

Dr. Miguel Ángel BARRENA GURBILLÓN
Vice Rector Académico

Dra. Flor Teresa GARCÍA HUAMÁN
Vicerrectora de Investigación

Dr. Oscar Andrés GAMARRA TORRES
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Dr. Juan Manuel Garay Román, identificado con el DNI N° 17808601, con domicilio legal en el Jr. Recreo 235 – Chachapoyas. Ingeniero Químico, con CIP N° 49255, Doctor en Ingeniería Química Ambiental, adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DOY VISTO BUENO, a la tesis titulada:

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AFLUENTE DOMÉSTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemma minor* EN EL ANEXO EL MOLINO, DISTRITO DE CHACHAPOYAS, PROVINCIA DE CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS 2015.

Que estuvo conducida por los estudiantes de Ingeniería Ambiental: CHUQUIBALA CHECAN, Mervin y SÁNCHEZ SALÓN, Hipattia Natalí; para optar el título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

POR LO TANTO

Procedo a firmar la presente para constancia.

Chachapoyas, 18 de diciembre de 2017.

Dr. Juan Manuel Garay Román
DNI N° 17808601

JURADO EVALUADOR

Dr. Oscar Andrés GAMARRA TORRES
Presidente

Lic. José Luis QUISPE OSORIO
Secretario

Msc. Rosalynn Yohanna RIVERA LÓPEZ
Vocal



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Form5- T

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de diciembre del año 2014, siendo las 10:00am horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: DR. OSCAR ÁNDRES GAMARRA TORRES

Secretario: LIC. JOSÉ LUIS QUISPE OSORIO

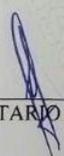
Vocal: M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

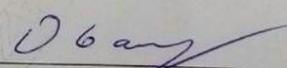
para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) MERVIN CHUQUIBALA CHECAM

titulado "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AFLUENTE DOMESTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE Eichhornia Crassipes Y Lemna minor EN EL ANEXO EL MOLINO, DISTRITO DE CHACHAPOYAS, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS, 2014"

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (), DESAPROBACIÓN () por mayoría (), por unanimidad (); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 12:00 p.m. horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

Form6- T

CIUDAD UNIVERSITARIA - CHACHAPOYAS - AMAZONAS - PERU
Telefax 041 477716



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Form5- T

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de diciembre del año 2017, siendo las 10:00 PM horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: DR. OSCAR ANDRES GAMARRA TORRES

Secretario: LIC. JOSE LUIS QUSPE OSORIO

Vocal: M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) HIPATTIA NATALI SANCHEZ SALÓN,

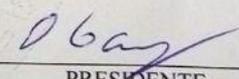
titulado DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AFIVENTE DOMÉSTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE *Eichhornia*

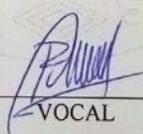
Crispites Y *Lemna minor* EN EL ANEXO EL MOUNO, DISTRITO DE CHACHAPOYAS, PROVINCIA DE CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS 2016.

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (), DESAPROBACIÓN () por mayoría (), por unanimidad (); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 12:00 m. horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

Form6- T

CIUDAD UNIVERSITARIA - CHACHAPOYAS - AMAZONAS - PERU
Telefax 041 477716



ANEXO 2-0

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo Mervin CHUQUIBALA CHECAN
identificado con DNI N° 47811053 Estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:



1. Soy autor de la Tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
CONTAMINANTES DEL AFLUENTE DOMÉSTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE Eichhornia
Crassipes y Lemna minor EN EL ANEXO EL MOJANO, DISTRITO DE CHACHAPOYAS, PROVINCIA
DE CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS, 20164"
La misma que presento para optar:

El Título Profesional de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 18 de Diciembre de 2017



ANEXO 2-0

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo Hipattia Natali Sánchez Salón
identificado con DNI N° 72787322 Estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:



1. Soy autor de la Tesis titulada: " DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
CONTAMINANTES DEL AFLUENTE DOMÉSTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE EICHORNIA CRASSIPES
Y Lemna minor EN EL ANEXO EL MOLINO DISTRITO DE CHACHAPOYAS, PROVINCIA DE
CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS, 2016 "
La misma que presento para optar:

El Título Profesional de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 18 de Diciembre de 2017

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	iv
JURADO EVALUADOR.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general:	3
2.2. Objetivos específicos:.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Antecedentes.....	4
3.1.1. Internacional.....	4
3.1.2. Nacional.....	6
3.1.3. Local	7
3.2. Bases teóricas	8
3.2.1. Aguas residuales.....	8
3.2.2. Tipos de aguas residuales	9
❖ Aguas residuales domésticas	9
❖ Aguas residuales industriales.....	11
❖ Aguas residuales agropecuarias	11
3.2.3. Efectos al verter aguas residuales domésticas	11
3.2.4. Tratamiento de aguas residuales domésticas	12
3.2.4.1. Pre tratamiento	12
a) Aliviaderos	12
b) Tanques de homogenización.....	12

c) Desbaste.....	12
d) Desarenado.....	13
e) Desengrasadores.....	13
3.2.4.2. Tratamiento primario.....	13
a) Sedimentadores.....	13
b) Decantación primaria.....	14
c) Tratamiento físico químicos.....	14
3.2.4.3. Tratamiento secundario.....	14
3.2.4.3.1. Procesos aeróbicos.....	14
a) Sistemas de lagunas.....	15
b) Filtro percolador.....	15
c) Filtro sumergido aerobio.....	16
3.2.4.3.2. Procesos anaeróbicos.....	17
a) Fosa séptica.....	18
b) Laguna anaerobia.....	18
c) Filtro anaerobio.....	19
3.2.4.4. Proceso biorremediación.....	20
a) Sistemas de macrófitas flotantes.....	21
b) Sistemas de macrófitas sumergidas.....	21
c) Sistemas de macrófitas enraizadas emergentes.....	22
3.2.4.4.1. Partes de un humedal artificial.....	23
a) Medio granular.....	23
b) Agua residual.....	23
c) Macrófita.....	25
d) Microorganismos.....	25
3.2.4.4.2. Mecanismo de depuración en un humedal.....	26
a) Nitrificación.....	26
b) Desnitrificación.....	27
c) Remoción de fósforo.....	27
3.2.4.4.3. Macrófita Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	28
3.2.4.4.4. Macrófita Lenteja acuática (<i>Lemma minor</i>).....	29
3.2.4.4.5. Normatividad legal para aguas residuales domésticas.....	30
3.3. Definición de términos básicos.....	31

3.3.1.	Agua residual.....	31
3.3.2.	Adsorción	31
3.3.3.	Aerobio	31
3.3.4.	Anaerobio	31
3.3.5.	Contaminante.....	32
3.3.6.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	32
3.3.7.	Oxígeno disuelto.....	32
3.3.8.	pH o concentraciones de iones hidrógeno	32
3.3.9.	Macrófitas	33
3.3.10.	Nitrógeno.....	33
3.3.11.	Turbidez.....	33
3.3.12.	Conductividad eléctrica	33
3.3.13.	Sólidos sedimentables	33
3.3.14.	Fitorremediación	34
IV.	MATERIAL Y MÉTODO.....	35
4.1.	Descripción de la PTAR El Molino.....	35
4.2.	Caracterización de las aguas de la PTAR El Molino.....	38
4.2.1.	Toma de muestras.....	38
4.3.	Técnica aplicada In-situ.....	40
4.3.1.	Determinación del pH	40
4.3.2.	Determinación de la conductividad eléctrica	41
4.4.	Diseño de los humedales artificiales	42
4.5.	Construcción del humedal	45
4.6.	Descripción del humedal construido	46
4.7.	Recolección de semillas del Jacinto de agua y Lenteja de agua.....	46
V.	RESULTADOS	48
5.1.	Conductividad eléctrica	48
5.2.	pH.....	48
5.3.	Afluente de la PTAR el Molino.....	49
5.4.	Efluente de la PTAR El Molino	50
5.5.	Efluente del humedal con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	51
5.6.	Efluente del humedal con Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>).....	52
5.7.	Efluente del Testigo.....	53

5.8.	Remoción de sólidos totales	54
5.9.	Remoción de la DBO5	54
5.10.	Remoción de la DQO	55
5.11.	Remoción de nitrógeno total	55
5.12.	Remoción de fósforo total	56
5.13.	Remoción de Coliformes	56
VI.	DISCUSIÓN	58
VII.	CONCLUSIONES	61
VIII.	RECOMENDACIONES	63
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores medios de calidad para aguas blancas.....	9
Tabla 2: Valores medios de calidad de agua para aguas domésticas	10
Tabla 3: Clasificación de los contaminantes del agua residual	24
Tabla 4: Lista de las macrófitas más comunes	25
Tabla 5: Límites permitidos para descargas residuales	30
Tabla 6: Valores típicos de K (d^{-1}), a 20 °C.....	44
Tabla 7: Caracterización del efluente en la PTAR, El Molino.....	50
Tabla 8: Análisis del efluente del humedal con Jacinto de agua.....	51
Tabla 9: Análisis del efluente del humedal con Lenteja de agua	52
Tabla 10: Análisis del efluente del humedal testigo.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de una laguna de oxidación.....	15
Figura 2: Esquema de un sistema filtro percolador.....	16
Figura 3: Esquema de filtro sumergido aerobio.....	17
Figura 4: Esquema de una fosa séptica	18
Figura 5: Esquema de una laguna anaerobia.....	19
Figura 6: Esquema de un filtro anaerobio	20
Figura 7: Esquema de la clasificación de humedales, según su desarrollo.....	21
Figura 8: Humedal artificial de flujo superficial.....	22
Figura 9: Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	22
Figura 10: Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	28
Figura 11: Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>).....	29
Figura 12: Vista espacial de la PTAR del anexo El Molino – Chachapoyas.	37
Figura 13: Vista panorámica en El Molino – Chachapoyas.....	37
Figura 14: Toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales El Molino. 39	
Figura 15: Medición del pH del agua residual.	41
Figura 16: Medición de la conductividad eléctrica	42
Figura 17: Construcción de los humedales.....	45
Figura 18: Acopio de semillas de Jacinto de agua bajo cultivo natural.	47
Figura 19: Humedales contruidos con láminas de polietileno comercial.	47
Figura 20: Conductividad eléctrica del afluente y efluente en la PTAR El Molino.	48
Figura 21: pH del afluente y efluente en la PTAR El Molino.....	49
Figura 22: Remoción de sólidos totales.....	54
Figura 23: Remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno	54
Figura 24: Remoción de la demanda química de oxígeno	55
Figura 25: Remoción de nitrógeno total.....	55
Figura 26: Remoción de fósforo total	56
Figura 27: Remoción de Coliformes	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Copia del DS N° 003-2010-MINAM, 17 marzo 2010.....	71
Anexo 2: Actividades utilizando Jacinto de Agua	73
Anexo 3: Actividades utilizando Lenteja de Agua.....	74
Anexo 4: Humedal sin ninguna macrófita.....	75
Anexo 5: Análisis de las muestras	76

RESUMEN

En la presente tesis se evaluó el grado de la eficiencia para remover contaminantes en el agua residual doméstica del anexo El Molino, para lograr éste objetivo se llevó a cabo la construcción de una batería de humedales artificiales que sirvieron de hábitat para las macrófitas Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemma minor*); éste último funcionó como otro biosistema artificial con el objetivo de tener un referente de comparación, aparte del referente existente y que fue la misma planta de tratamiento de aguas residuales del mismo anexo. Es decir, al final de la investigación se tuvieron datos de tres tratamientos de depuración de las aguas residuales: La planta de tratamiento de aguas residuales El Molino (PTAR), el humedal en base a la especie macrófita *Eichhornia crassipes* y el humedal en base a la macrófita Lenteja de agua (*Lemma minor*), muy aparte se construyó otro humedal testigo que fue diseñado para no recibir ningún estímulo. En la investigación se concluyó que con el Jacinto acuático se obtuvo una eficiencia de remoción del 88.03 % en la eliminación de sólidos totales; asimismo la eficiencia de remoción para depurar la DBO y DQO fue de 86.94 % y 77.04 % respectivamente. La eliminación de nitrógeno tuvo una eficiencia del 47.37 % y la eliminación del fósforo total fue del 30.09 %. La eficiencia de la remoción de coliformes fue de 80.00%. Al utilizar Lenteja de agua, se obtuvo una eficiencia de remoción de 18.30% para la eliminación de los sólidos totales. Así mismo la eficiencia para depurar la DBO y DQO fue del 18.00% y 12.26% respectivamente, la eliminación de nitrógeno y fósforo total fue 5.00% y 5.31%. La eficiencia de la remoción de Coliformes fue 51.11%. Con el tratamiento primario El Molino se obtuvo una eficiencia del 59.86 % para los sólidos totales. Así mismo, la eficiencia para la DBO y DQO fue del 33.88 % y 27.99 % respectivamente. La eliminación de nitrógeno fue del 18.42 % y la eficiencia para eliminar fósforo del 9.37 %. La eficiencia de la remoción de Coliformes fue del 40.00%. Y al evaluar el humedal testigo se tuvo una eficiencia de remoción de sólidos totales, sólidos totales disueltos y sólidos suspendidos del 8.00 %. Al evaluar la DBO y DQO, se obtuvieron eficiencias de remoción de 4.90 % y 3,80% respectivamente. Al evaluarse los contenidos de nitrógeno y fósforo, se obtuvieron eficiencias de remoción del orden del 2.10% y 2.70% respectivamente y la eficiencia de remoción de Coliformes fue de 8.90%

Palabras claves: Humedal artificial, Jacinto acuático, Lenteja de agua eficiencia, contaminante.

ABSTRACT

In this thesis the degree of efficiency to remove contaminants in domestic wastewater Annex Mill to achieve evaluated this target was carried out the construction of a battery of artificial wetlands that served as habitat for macrophytes water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Duckweed (*Lemna minor*); the latter worked as another artificial biosystem in order to have a benchmark for comparison, apart from the existing benchmark and it was the same treatment plant wastewater Annex. That is, at the end of the research data from three purification treatments of wastewater were taken: The treatment plant wastewater El Molino (WWTP) the wetland based on the macrophyte *Eichhornia crassipes* species and wetland based on duckweed (*Lemna minor*) macrophyta, quite apart another witness wetland was designed not receive any stimulus was built. The investigation concluded that the water hyacinth removal efficiency of 88.03% in total solids removal was obtained; also the removal efficiency to debug the BOD and COD was 86.94% and 77.04% respectively. Nitrogen removal had an efficiency of 47.37% and total phosphorus removal was 30.09%. The efficiency of coliform removal was 80.00%. By using duckweed, a removal efficiency of 18.30% for the removal of total solids was obtained. Likewise efficiency to debug the BOD and COD was of 18.00% and 12.26% respectively, removing nitrogen and total phosphorus was 5.00% and 5.31%. The removal efficiency was 51.11% Coliform. Treatment with the primary mill efficiency of 59.86% for total solids was obtained. Also, efficiency for BOD and COD was 33.88% and 27.99% respectively. Nitrogen removal was 18.42% and the efficiency to remove the 9.37% phosphorus. The efficiency of coliform removal was 40.00%. And when measuring witness wetland removal efficiency had total solids, total dissolved solids and suspended solids of 8.00%. In evaluating the BOD and COD, removal efficiencies of 4.90% and 3.80% respectively were obtained. The content of nitrogen and phosphorus evaluated, removal efficiencies in the order of 2.10% and 2 were obtained.

Keywords: Artificial wetland, water hyacinth, duckweed efficiency, pollutant.

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales en nuestro país es un tema que se abordó muy poco por las intervenciones del gobierno central de esta manera la oferta de una agua de buena calidad destinado al consumo humano disminuye cada vez más, mientras que la demanda de agua apta para el consumo humano aumenta paulatinamente con el crecimiento acelerado de la población que actualmente la cifra asciende a 30 millones de habitantes. En la presente investigación se abordó una alternativa de tratamiento no convencional a las aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del anexo El Molino, ya que estas aguas al ser vertidas a la quebrada Bishohuayco luego de recibir un tratamiento primario por la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas residuales) alteran la composición del agua y representando un foco de contaminación para las aguas abajo.

La problemática que causan las aguas residuales se acentúan en casi todo el país tomando como ciudad con más población la ciudad de Lima donde se genera la mayor parte de aguas residuales urbanas SEDAPAL solo trata el 9.4% del total de aguas residuales recolectadas, el 90.6 % restante es vertido en los ríos o directamente al mar (Bálcazar, 2007).

Una de las alternativas más buenas que se adaptan a la mayoría de lugares son los humedales artificiales a base de macrófitas ya que estas hacen posible que se lleve a cabo una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua es depurada lentamente (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Tratar el agua se ha hecho un acción muy difícil de omitirlo ya que todos los sistemas de alcantarillado de las urbanizaciones vertían sus aguas negras directamente a los ríos, quebradas, y fuentes superficiales cercanas de esa forma alterando significativamente la composición natural del agua convirtiéndolo de un líquido apto para consumo humano en un riesgo latente o amenaza ante un contacto directo o indirecto. Es por ello la presente tesis fue ejecutada para de alguna forma contribuir con el cuidado del agua para que sea este líquido vital sostenible en el tiempo y nuestras futuras generaciones puedan gozar de lo que ahora existe.

Visualizando tal problemática se construyeron humedales artificiales con las macrófitas flotantes como es el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y la Lenteja de Agua (*Lemna minor*) como tratamiento secundario a las aguas residuales que salen de la PTAR El Molino

de la unidad de desbaste, para de esa manera disminuir la contaminación reduciendo los parámetros de calidad de agua como son: Sólidos totales, Sólidos totales disueltos, Sólidos en suspensión, DBO, DQO, Nitrógeno total, Fósforo total, Coliformes NMP/100 ml.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Determinar el grado de eficiencia de remoción de contaminantes utilizando Jacinto de agua y Lenteja de agua para el tratamiento del afluyente doméstico en el Anexo El Molino y así contribuir con la solución de disposición final del afluyente que genera contaminación ambiental.

2.2. Objetivos específicos:

- Identificar los indicadores de contaminación que presenta el afluyente doméstico.
- Instalar un humedal artificial a nivel piloto de flujo libre para las pruebas experimentales.
- Cultivar el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de Agua (*Lemma minor*) en el humedal artificial instalado.
- Analizar la eficiencia de remoción de contaminantes por la aplicación de la especie *Eichhornia crassipes* y *Lemma minor*.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

3.1.1. Internacional

Según Cueva y Rivadeneira (2013) el Agua Residual de la Hacienda. Zoila Luz, Santo Domingo en Ecuador, luego de ser tratada en los humedales artificiales tiene niveles inferiores de contaminantes a los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce y puede ser considerada agua para uso agrícola clase III según los parámetros DQO, aluminio, nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales, exceptuando los niveles de DBO5 y Coliformes totales que superan estos límites.

Según Jaramillo y Flores (2012), se logró remover un 29.5% del mercurio con la aplicación de macrófitas como Jacinto de agua (*E. crassipes*) y Lenteja de Agua (*L. minor*), donde la lenteja de agua es la macrófita que presente mayor resistencia a las concentraciones de mercurio.

Harvey y Fox citado por, Martelo y Lara (2012) menciona que para el año 1973 en la Universidad de la Florida ensayaron con *L. minor* la remoción de nutrientes obteniendo resultados de 89% y 67% para nitrógeno y fosforo respectivamente. La investigación y desarrollo en el campo de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales ha sido llevado a cabo principalmente en países con estaciones. En países tropicales como Colombia, se ha desarrollado un prototipo de humedal artificial de configuración simple y eficiente denominado “Humedar - I®” cuya configuración involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo a pistón (RACFP), seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrófitas nativas y comunes soportadas sobre sustrato de material plástico reciclado con un diseño especial de aprox. 300 m²/m³ de superficie específica. En el presente trabajo se plantea la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la tecnología Humedar - I® instalado en la locación petrolera Caño Gandul en el departamento de Casanare. La evaluación del sistema se llevó a cabo mediante la medición y análisis de algunos determinantes de calidad del agua. Los resultados de este monitoreo permitieron: i) estimar la eficiencia de remoción

del sistema, ii) hacer una aproximación al modelo cinético de degradación de la materia orgánica, infiriendo cual valor de K se adaptaría mejor para simular la remoción en el humedal y iii) evaluar el sistema Humedar - I® con otros sistemas convencionales como las lagunas de oxidación (Otálora, 2011).

Avelar (2011) en la cabecera municipal de Hueyapoxtla, Estado de México, cuyas aguas residuales vierten directamente al cauce del Río Salado, el cual cruza por la comunidad de Tlapanaloya, municipio de Tequisquiác se construyó un humedal para el tratamiento de las aguas residuales con la especie vegetal alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), el cual reportó buenos beneficios en la disminución de los contaminantes además beneficios económicos adicionales por ser una planta de ornato.

Rodríguez, Gómez, Garavito, y López (2010) realizaron un estudio de la comparación de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Universidad Manuela Beltrán de Colombia utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presentando resultados de remoción de materia orgánica (DBO₅) entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua (Jacinto de agua) y 58% cuando se utilizó Lenteja de agua durante la experimentación se evidenció cuando se utilizó lenteja de agua este le aportó al agua elementos característicos de la planta que aumentan el pH mayor a 11 en el agua efluente mientras que con el Jacinto de agua el pH se mantuvo en el rango de 6 a 8 favoreciendo la estabilización de la materia orgánica.

Según Rojas (2002), en un principio, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo, pero prontamente las superficies de los terrenos no fueron suficientes para absorber el cada vez mayor volumen de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera de mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió pequeña atención. Debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, pronta se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud.

3.1.2. Nacional

En el país existe una gran cantidad de efluentes provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR) que son vertidos a los cuerpos naturales de agua, afectando la calidad de los mismos. A partir del 01 de abril del 2009 entró en vigencia la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, que establece que la Autoridad Nacional del Agua es la responsable de la protección del agua como recurso hídrico. En este sentido, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad del agua sobre la base de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (Ley N° 29338, 2009)

Con la aprobación del D.S. N° 003-2010-MINAM entraron en vigencia, a partir del 17 de marzo del 2010, los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR. Este decreto establece la obligatoriedad de los titulares de las PTAR a realizar el monitoreo de sus efluentes, considerándose válido únicamente el monitoreo realizado conforme al Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (en adelante Protocolo de Monitoreo). Este debe especificar la ubicación de los puntos de control, los métodos y las técnicas adecuadas, así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento puede disponer asimismo el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el Decreto Supremo cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente. Sólo se considera válido el monitoreo de aguas residuales de las PTAR conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Según Velarde, Zavaleta y Aguilar (2011) se realizó un estudio en el Laboratorio de Catálisis, adsorbentes y materiales de la Universidad Nacional de Trujillo, se utilizó al Jacinto de agua para remover concentraciones de Cr^{+6} de una relave proveniente de las industrias de curtiembre del distrito el Porvenir se colocó. Se logró reducir concentraciones de 11.5 ppm, 25.6 ppm y 51.3 ppm a concentraciones de 3.6 ppm, 8.7 ppm y 21.4 ppm; a altas concentraciones de cromo el Jacinto de agua presenta una alta velocidad de remoción.

Barreto & Paredes (2015) en la Universidad Nacional Agraria de la Selva se utilizaron las especies de *Pistia Stratiotes* y *Eichhornia crassipes* para la absorción de cobre en solución acuosa en concentraciones de 10, 30, 60 y 90 mg/L; las especies *Pistia Stratiotes* y *Eichhornia crassipes* fueron aclimatadas por un tiempo de siete días en los exteriores de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para la aclimatación utilizando una solución de 150 ppm de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Pasado 20 días que duró el experimento obteniendo para *Pistia Stratiotes* : a 10 mg/L una remoción de 98.87%, 30 mg/L una remoción de 97.41%, 60 mg/L una remoción de 84.29% y a 90 mg/L una remoción de 79.42%; y para *Eichhornia crassipes* obteniendo a 10 mg/L una remoción de 98.34%, 30 mg/L una remoción de 95.99%, 60 mg/L una remoción de 79.56% y a 90 mg/L una remoción de 76.61%.

3.1.3. Local

Coronel (2016) para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas se realizó la instalación de humedales artificiales por el sistema por tandas o flujo discontinuo, el agua residual fue previamente tratada por un filtro de grava para atrapar los residuos de mayor tamaño y posteriormente conducida a los estanques con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y un control (sin ninguna macrófita) dichos estanques con capacidad de contener 80 litros con una frecuencia de monitoreo cada diez días y cambiándose cuatro veces del cual lográndose remover utilizando la especie *Eichhornia crassipes* 93.20% de turbidez, 90.77% de conductividad eléctrica, 95.79% de sólidos suspendidos totales, 17.53% de pH, 86.54% de nitratos, 94.17% de nitritos, 89.93% de amonio, 93.70% de Fosfatos, 92.93% de sulfatos, 85.69% de cloruros, 95.55% de DBO₅, 93.09% de DQO, 99.98% de coliformes totales, 99.99% de coliformes fecales, 99.99% de escherichia coli; utilizando *Lemna minor* 76.06% de turbidez, 71.75% de conductividad eléctrica, 78.92% de sólidos suspendidos totales, 8.82% de pH, 87.82% de nitratos, 88.35% de nitritos, 93.17% de amonio, 87.40% de fosfatos, 81.76% de sulfatos, 92.19% de cloruros, 85.53% de DBO₅, 80.85% de DQO, 95.83% de coliformes totales, 95.62% de coliformes fecales, 94.60% de escherichia coli y utilizando el tratamiendo control 17.06% de turbidez, 5.46% de conductividad eléctrica,

23.60% de sólidos suspendidos totales, 5.61% de pH, 8.80% de nitratos, 4.85% de nitritos, 3.50% de amonio, 3.54% de fosfatos, 6.03% de sulfatos, 6.50% de cloruros, 6.18% de DBO₅, 6.76% de DQO, 15.63% de coliformes totales, 16.88% de coliformes fecales, 15.05% de escherichia coli.

3.2. Bases teóricas

Los vertidos de aguas residuales son la fuente de la mayor parte de contaminación antropogénica que puede hallarse en las aguas naturales. Por ello el control de ésta contaminación mediante la depuración o tratamiento de dichas aguas constituye un aspecto fundamental desde el punto de vista ecológico y de cumplimiento obligatorio desde el punto de vista legal. La caracterización de un agua residual puede realizarse de varias maneras; sin embargo, toda caracterización implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándares que aseguren precisión y exactitud en los resultados. La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por lo que las cargas equivalentes o contribuciones per cápita de contaminación varían de una ciudad a otra y de un país a otro (Romero, 2005).

3.2.1. Aguas residuales

Son aquellas que se definen por ser alteradas en su composición por el uso al que han sido sometidas, lo que conlleva a una pérdida de calidad y una necesidad de tratamiento o depuración. Cualquiera sea su procedencia, los vertidos de aguas residuales presentan una amenaza para los seres vivos y el medio ambiente, ya que produce una alteración de las características, cantidad y composición del agua residual, así como de la capacidad de autodepuración del medio frente al vertido al que es sometido (Ferrer y Seco, 1999).

Para minimizar el efecto medio ambiental es necesario recoger y tratar adecuadamente los afluentes (por carecer de tratamiento depurativo), manteniendo una serie de principios y objetivos en el proceso. Metcalf, (1995) cita los siguientes objetivos:

- Prevenir y reducir lo máximo posible la contaminación y sus efectos.
- Considerar todos los efectos posibles sobre el medio ambiente, asegurando su máxima protección.

- Aplicar una estrategia ambiental de protección del medio ambiente en la planificación del desarrollo urbano e industrial.
- Eliminar los vertidos de carácter altamente tóxico, persistente y bioacumulativo.

3.2.2. Tipos de aguas residuales

Olguín, Hernández, Coutiño y Gonzáles (1998), formulan una clasificación genérica de las aguas residuales, diferenciando entre aguas domésticas, industriales y agropecuarias.

❖ Aguas residuales domésticas

Son aquellas aguas proceden de las alcantarillas de zonas residenciales y de servicios (Aguas grises: procedente de cocina y lavado; Aguas negras: procedente de servicios higiénicos). Metcalf (1995), denomina a todo éste como conjunto aguas municipales.

Las aguas grises, junto a las aguas pluviales y de escorrentía, son denominadas aguas blancas; cuya característica resaltante es su carácter intermitente de su caudal y por una contaminación importante debido al arrastre de sustancias, tales como: deposición de contaminantes atmosféricos, arrastre de residuos y restos de basuras de calles, contaminantes derivados del tráfico (hidrocarburos, plomo); contaminantes ajardinados (biocidas, abonos) y contaminantes de alcantarilla. Hill y Jenkins (1989), recopilan valores promedios para el agua residual blanca.

Tabla 1: Valores medios de calidad para aguas blancas

Parámetro	Concentración (mg/L)
Sólidos en suspensión total (SS)	230
Sólidos en suspensión volátiles (SSV)	40
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	25
Demanda química de oxígeno (DQO)	65
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃)	0,2
Nitratos (NO ⁻³)	0,5
Nitrógeno orgánico (N-Orgánico)	1,4
Fosfatos totales (PO ₄ ⁻³)	1,15

Fuente: (Metcalf, 1995).

Las aguas negras, son aquellas en las que predominan componentes fecales, aguas de limpieza y uso alimentario. Romero (2005), sostiene que entre las sustancias y especies presentes se tienen compuestos orgánicos naturales (proteínas, azúcares, urea, grasas, ácido acético, ácido láctico, aceites vegetales y aceites animales, entre otros.), bionutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo, éste último proveniente de detergentes) y microorganismos (coliformes totales y fecales, estreptococos y virus). Metcalf (1995), recopila valores medios para aguas domésticas, es decir, aquellas que reúnen aguas grises y aguas negras.

Tabla 2: Valores medios de calidad de agua para aguas domésticas

Parámetro (ppm)	Nivel de contaminación		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1000 - 1200	500 – 700	200 – 300
Sólidos totales volátiles	600 - 700	200 – 400	120 – 170
Sólidos totales fijos	300 - 600	150 – 300	80 – 139
Sólidos suspensión	350 - 500	200 – 300	100
Sólidos suspensión volátiles	275 - 400	150 – 250	≈ 70
Sólidos suspensión fijos	75 - 100	≈ 50	≈ 30
Sólidos sedimentables	≈ 250	≈ 180	≈ 40
Sólidos sedimentables volátiles	≈ 100	≈ 70	≈ 15
Sólidos sedimentables fijos	≈ 150	≈ 110	≈ 25
Sólidos disueltos	500 - 850	200 – 500	100 – 200
Sólidos disueltos volátiles	300 - 325	100 – 200	50 – 100
Sólidos disueltos fijos	200 - 525	100 – 300	50 – 100
Demanda bioquímica oxígeno	400	200	100
Demanda química de oxígeno	800 - 1000	450 - 500	160 – 250
Oxígeno disuelto	0	0,1	0,2
Aceites y grasas	150	100	50
Nitrógeno total	85 - 90	40 - 50	20 – 25
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	50	25 - 30	12 – 15
Nitrógeno orgánico	35	15 - 20	8 – 10
Nitritos	0,05 – 0,10	0,0 – 0,05	0
Nitratos	0,40	0,20	0,10
Fósforo total	17 - 20	7 – 10	2 – 6
P-Orgánico	5	3	2
P-Inorgánico	15	7	4

Cloruros	100 - 175	50 - 100	15 - 30
Alcalinidad (CaCO ₃)	200	100	50
pH	6,9 – 7,5	6,9 – 7,5	6,9 – 7,5
Coliformes totales/100 ml.	> 10 ⁹	10 ⁸ - 10 ⁹	< 10 ⁸

Fuente: (Metcalf, 1995).

❖ **Aguas residuales industriales**

Romero (2005), denomina aguas residuales industriales aquellas procedentes de los vertidos originados en las etapas del proceso de producción, las procedentes de generación e intercambio de calor y cuantos otros tipos de afluentes se viertan desde cada instalación de producción. Asimismo, hacen hincapié que la composición de las dichas aguas será específica.

❖ **Aguas residuales agropecuarias**

Domenéch (2000), sostiene que agua residual agropecuaria son aquellas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. Se incluyen aguas destinadas para riego (uso agrícola), residuos líquidos de ganado (orines) y las aguas utilizadas en explotaciones ganaderas, sobre todo en operaciones de limpieza que pueden arrastrar el estiércol y orines, aunque, debido a su alta contaminación, se intentan eliminar estos desechos como residuos.

3.2.3. Efectos al verter aguas residuales domésticas

Verter agua residual sobre fuentes de agua produce una serie de efectos sobre el medio ambiente al que son devueltos; así como una serie de problemas relacionados en su acopio y posterior tratamiento. Ansola, González, Cortijo y De Luis (2003) sostienen que entre los impactos negativos se incluyen:

- Infecciones por existencia de microorganismos patógenos.
- Modificación de la vida acuática por disminución del oxígeno disuelto (materia orgánica).
- Eutrofización de las aguas por exceso de bionutrientes.
- Olores y sabores desagradables.
- Alteraciones estéticas ocasionadas por espumas, turbidez y color.
- Contaminación de suelos, quebradas y ríos por la presencia de contaminantes.

Crites y Tchobanoglous (2000) formula un enfoque más preciso al detallar el impacto toxicológico sobre el medio ambiente cuando el agua residual traslada contaminantes ecotóxicos y bio-acumulativos. Inclusive las alcantarillas que son generalmente de hormigón y cemento pueden aportar sustancias ácidas y alcalinas, sales disueltas, gases, compuestos orgánicos, temperatura, dureza baja, entre otros. Todos ellos afectan los procesos de corrosión (solubilidad de materiales) y procesos electroquímicos (corrosión de metales).

3.2.4. Tratamiento de aguas residuales domésticas

Jin, Kelley, Freeman y Callahan (2002), sostienen que el objetivo fundamental de todo tratamiento de aguas residuales es reducir la contaminación agresiva por la presencia de los sólidos en suspensión y materia orgánica biodegradable, previa eliminación de la materia no disuelta de mayor tamaño.

El proceso de depuración consta de varias etapas: Pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

3.2.4.1. Pre tratamiento

Toda planta consta de elementos dinámicos que sirven para eliminar sólidos gruesos y finos (arenas), cuyo paso a tratamientos posteriores dificultaría la operatividad de la planta. Ferrer y Seco (1999) formularon algunos elementos del pre tratamiento:

a) Aliviaderos

Permiten regular el caudal con vertido directo al cauce receptor cuando se incrementa el caudal por lluvias intensas.

b) Tanques de homogenización

Permite la entrada de diferentes efluentes a la planta.

c) Desbaste

El objetivo es la eliminación de sólidos de tamaños mayores, para prevenir interferencias con tratamientos posteriores y como protección de los equipos. La separación de sólidos se logra por medios netamente físicos, empleando rejillas, cribas o tamices (El-Gendy, Biswas & Bewtra, 2005).

d) **Desarenado**

Está orientado a separar partículas sólidas pequeñas de alta densidad, básicamente material de origen inorgánico como la arena, lo que evita daños por abrasión en tuberías, bombas y reactores. La eliminación ocurre por disminución de la velocidad de flujo de la corriente líquida al operar a velocidades del orden de 0,3 m/s, para separar arena con un diámetro superior a 0,2 mm (Jin *et al.*, 2002).

e) **Desengrasadores**

Las partículas en suspensión se localizan en la parte superior del agua. En el caso de emplear aireación, las partículas en suspensión son arrastradas por burbujas de aire hacia la superficie del agua. Este proceso se emplea en los casos en que las densidades de las partículas y de la fase líquida son similares o en el caso de partículas muy pequeñas, fibras vegetales muy finas o gotas de aceite (Muñoz, 1993).

3.2.4.2. Tratamiento primario

Crites y Tchobanoglous (2000), define al tratamiento primario como un conjunto de procesos que tiene como objetivo la eliminación, por medios físicos de los sólidos en suspensión más finos no eliminados en el pre tratamiento. En algunos casos, como por ejemplo cuando se trabaja con aguas de carácter mixto urbanas – industriales, se pueden añadir aditivos químicos para provocar un proceso de coagulación – floculación adicional, que elimine materia coloidal e incremente la eficiencia de la sedimentación – decantación.

a) **Sedimentadores**

Es una técnica utilizada para la eliminar partículas en suspensión menores a 1 mm y su funcionamiento está basado en la ley de gravedad. A veces es necesario la adición previa de sustancias floculantes para mejorar su separación, lo que se logra mediante un proceso de floculación y/o coagulación por adición de productos químicos. Romero (2005), sostiene que los sólidos, en su mayoría de carácter mineral, arrastran y adsorben en su caída una cierta cantidad de materia orgánica y bacterias, por lo que se consigue una reducción de la DBO (aproximadamente entre 25 y 40 %).

b) Decantación primaria

El objetivo es la eliminación de la mayor parte posible de sólidos sedimentables, bajo la acción exclusiva de la gravedad, retirar estos sólidos es muy importante ya que, su arrastre originaría fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento de la estación (Llagas y Guadalupe, 2006). El tanque decantador, requiere que se reduzca la velocidad del afluente residual, el tiempo de retención suele ser de 2 a 4 horas en promedio, consiguiéndose eliminar aproximadamente entre el 60 y 65 % de los sólidos en suspensión totales.

c) Tratamiento físico químicos

La adición de reactivos químicos permite incrementar la reducción de los sólidos en suspensión, al eliminarse sólidos coloidales debido al incremento del tamaño y densidad de los mismos mediante procesos de coagulación – floculación. Otálora (2011) sostiene que estos tratamientos se aplican cuando se tiene aguas residuales que contienen vertidos industriales que pueden afectar negativamente al tratamiento biológico y para evitar sobrecargas en el posterior tratamiento biológico.

3.2.4.3. Tratamiento secundario

En esta etapa se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos, formando flóculos que son separados de la corriente de agua tratada, por sedimentación (Álvarez, Maldonado, Gerth y Kusch, 2004).

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos; los anaerobios y los aerobios.

3.2.4.3.1. Procesos aeróbicos

Pueden operar bajo los siguientes sistemas:

a) Sistemas de lagunas

Se aprovecha la simbiosis entre bacterias y algas para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno y producen CO_2 , mientras que las segundas consumen CO_2 y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna (Romero, 2005).

La primera es del tipo facultativa (zona aerobia en la parte superior y zona anaerobia en la parte inferior) con una profundidad entre 1 y 2 m; la segunda es de tipo de oxidación o pulimento (no hay zonas anaerobias) con una profundidad menor a 1 m. En esta laguna se logra abatir la concentración de microorganismos patógenos (Ramos, Rodríguez y Martínez, 2007).



Figura 1: Esquema de una laguna de oxidación

Chernicaró y Borges (1997), sostienen que los principales parámetros para controlar el proceso, son entre otros, la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación, el pH óptimo (6.5 a 7.7), la concentración de nutrientes, la materia orgánica de entrada y salida del reactor, la edad del fango o tiempo de residencia en el reactor (2 a 12 días), la concentración y tipos de microorganismos y el llamado índice volumétrico de fangos.

b) Filtro percolador

Es un dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales con microorganismos adheridos en forma de biopelícula a un empaque, suficientemente espaciado para que circule el aire en forma natural. Un nombre más apropiado para este sistema podría ser el de lecho no sumergido de oxidación biológica o reactor biológico empacado no sumergido (El-

Gendy *et al.*, 2005).

El material de empaque debe reunir condiciones como poseer una alta relación área/volumen, ser inerte, resistente, durable y de bajo costo. Casi siempre se utilizan dos tipos de empaques, los naturales (materiales pétreos) y sintéticos (diversas geometrías de piezas de plástico). Los filtros percoladores se operan con distintas cargas orgánicas y superficiales en función de la presencia o no de recirculación. La tasa de recirculación depende de la cantidad de agua tratada que se retorna a la entrada y de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor (Muñoz, 1993).

En éste sistema la aireación se efectúa por convección natural, es decir, el aire fluye a través del medio empacado por diferencia de temperaturas entre el ambiente interno del reactor y el externo y es posible obtener eficacias de remoción de contaminantes del orden del 70 a 85 % en función de la carga aplicada (Muñoz, 1993).

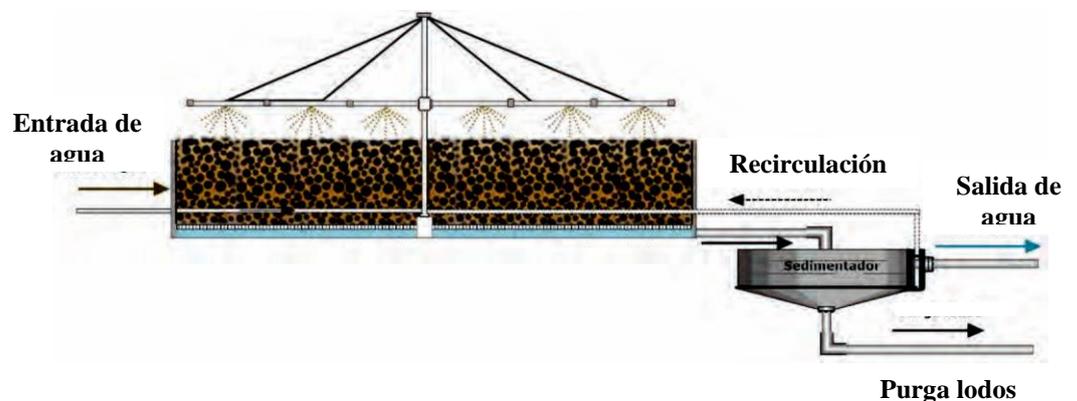


Figura 2: Esquema de un sistema filtro percolador.

c) Filtro sumergido aerobio

Este sistema consiste de un tanque empacado con elementos plásticos, cerámicos o piedras de pequeño tamaño (inferior a los 2 cm). El empaque provee área para adherir microorganismos y se encuentra sumergido en el agua residual. El oxígeno debe ser incorporado al agua mediante difusores colocados en el fondo del reactor y acoplados a un sistema de compresión de aire. Es muy adecuado cuando se manejan altas fluctuaciones de caudal, debido a que la biomasa, estando adherida al empaque que se encuentra

inmóvil dentro del reactor, resiste el paso del agua a mayores velocidades de flujo de agua o picos hidráulicos, como es el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas (Chernicaró y Borges, 1997).

El uso de este sistema en plantas de mayor tamaño se complica por el costo del empaque y/o el peso y desplazamiento de volumen de éste que debe ser compensado con una estructura civil más resistente y de mayor tamaño. La resistencia mecánica del empaque debe además asegurarse, ya que el aire inyectado en la base del tanque ejerce un efecto abrasivo, que no se presenta en los filtros percoladores convencionales (Muñoz, 1993).

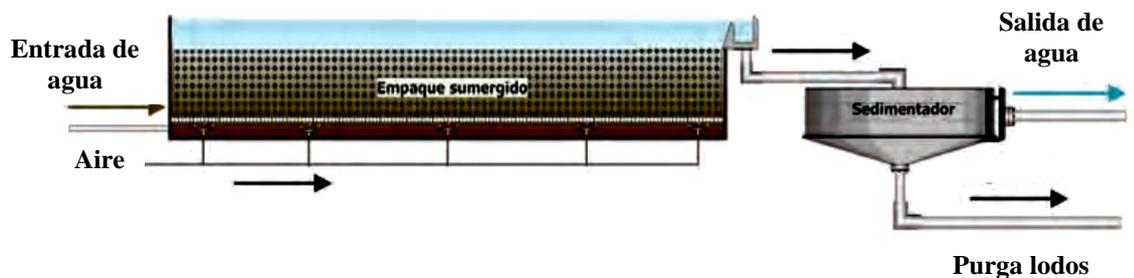
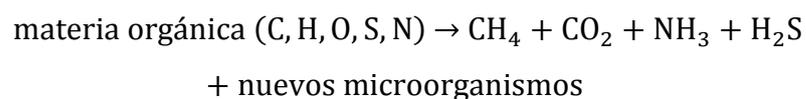


Figura 3: Esquema de filtro sumergido aerobio.

3.2.4.3.2. Procesos anaeróbicos

Es un proceso biológico en el que la materia orgánica biodegradable es asimilada por microorganismos específicos en ausencia de oxígeno disuelto. Generalmente, se utiliza aguas residuales industriales de alta carga orgánica (2000 – 3000 ppm) o en el tratamiento de fangos de cualquier tipo de depuradora (Agdag y Sponza, 2005).

La reacción global que se produce por la ausencia de oxígeno es la siguiente:



La descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias consta de reacciones catabólicas de degradación y reacciones anabólicas de síntesis de nuevas células bacterianas. Sin embargo, en los procesos anaerobios la energía

se desprende en las reacciones de degradación es bastante menor, por lo que la producción de biomasa se reduce de 5 a 10 veces (Agdag y Sponza, 2005).

a) **Fosa séptica**

Se considera a un tanque prefabricado, que permite la sedimentación y la eliminación de flotantes, actuando como un digestor anaerobio convencional a escala reducida y cuyo uso se ha limitado a tratar las aguas residuales domésticas de casas habitación, escuelas, etc.; generalmente, en zonas rurales o bien en áreas urbanas en donde no existe el servicio de drenaje (Crites y Tchobanoglous, 2000).

En los lodos sedimentados se realiza la digestión anaerobia en condiciones desfavorables, debido a la falta de mezclado y a la temperatura ambiente lo que produce la liberación de materia orgánica soluble como resultado de la hidrólisis de los sólidos orgánicos retenidos como lodos. Por esta razón, el efluente no posee características físico-químicas para ser descargado directamente a un cuerpo receptor, de ahí la importancia de efectuar el post tratamiento del efluente de la fosa séptica (Olguín *et al.*, 1998).

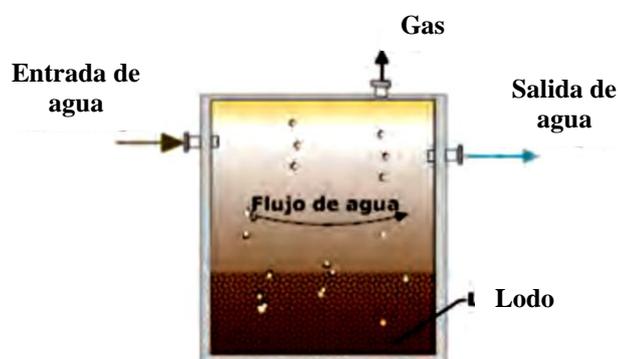


Figura 4: Esquema de una fosa séptica

b) **Laguna anaerobia**

Este sistema se emplea principalmente en aguas de desecho industriales evacuadas a temperatura mayor a la del ambiente y con cierto contenido de sólidos suspendidos sedimentables. Consisten en tanques profundos (hasta 10 m) normalmente sin cubierta para captar el biogás. Por ende, un punto particularmente problemático son los malos olores asociados con estos

sistemas (Agdag y Sponza, 2005).

Las lagunas anaerobias también se aplican en el tratamiento de aguas residuales municipales, como primer elemento de un sistema de lagunas que típicamente se conforma por una laguna facultativa en segundo sitio y una laguna de pulimento (Agdag y Sponza, 2005).

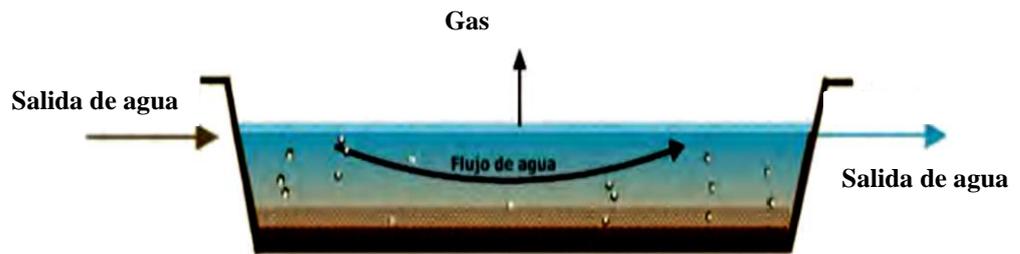


Figura 5: Esquema de una laguna anaerobia

c) **Filtro anaerobio**

Este sistema de segunda generación consiste en un reactor inundado de flujo ascendente o descendente empacado con soportes plásticos o piedras de 3 a 5 cm de diámetro promedio. El agua residual atraviesa el lecho empacado permitiendo la interacción entre el sustrato en el agua residual y el microorganismo adherido al empaque. Debido a que en este sistema el microorganismo se encuentra adherido al empaque, su tiempo de retención celular es mayor al tiempo de retención hidráulica manejado. Este sistema puede aplicarse en el tratamiento de aguas residuales de casas habitación (posterior a una fosa séptica) debido a su alta resistencia a la fluctuación en caudales. La eficiencia de remoción para DQO está alrededor del 65 % para aguas residuales de tipo doméstico (Muñoz, 1993).

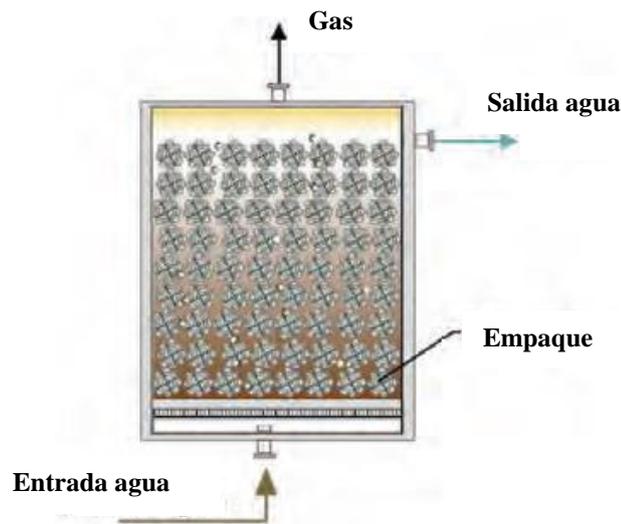


Figura 6: Esquema de un filtro anaerobio

3.2.4.4. Proceso biorremediación

El sistema es conocido como humedal y pueden ser natural o artificial y consiste en desarrollar un cultivo de macrófitas enraizadas sobre una poza de grava impermeabilizado, cuya acción hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual es depurada progresiva y lentamente a través de tres principios: La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte (poza) que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como medio filtrante (Ansola *et al.*, 2003).

Los humedales superficiales purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química. Reemplazan así el tratamiento terciario bajo ciertas condiciones (Martelo y Lara, 2012).

La depuración de aguas residuales por es posible gracias a las plantas superiores (macrófitas) de los humedales que abarca vegetación acuática visible a simple vista, como plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Otálora, 2011). Constituyen fitosistemas, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis, al captar luz solar y transformarla en energía química, que es usada

en el metabolismo para realizar funciones vitales de las macrófitas y al realizar sus funciones vitales, depuran las aguas residuales (Llagas y Guadalupe, 2006). Los humedales artificiales se clasifican según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres. Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados según el siguiente esquema.

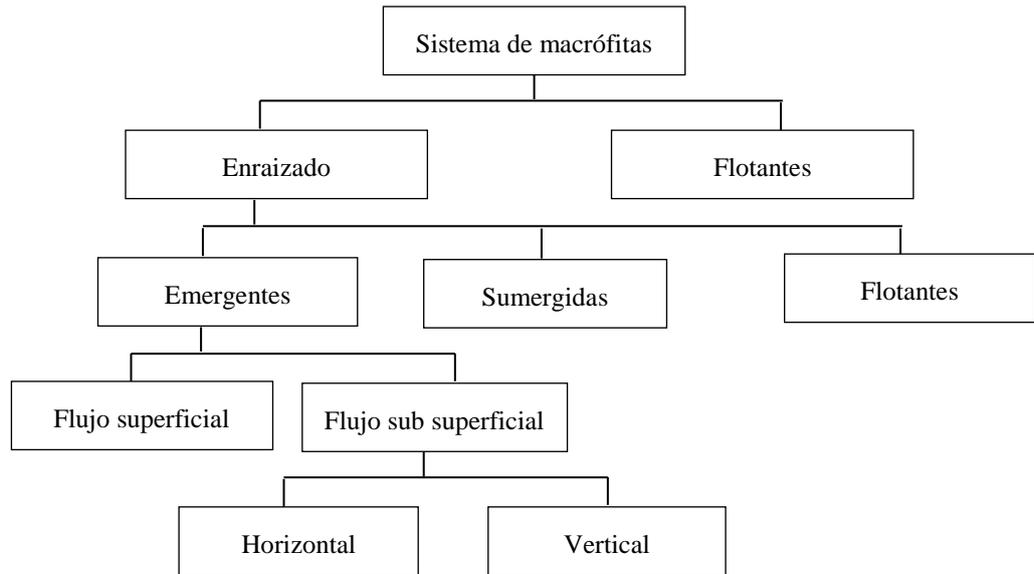


Figura 7: Esquema de la clasificación de humedales, según su desarrollo.

A continuación, se realiza una descripción del esquema anterior.

a) Sistemas de macrófitas flotantes

Lo constituyen las angiospermas sobre suelos anegados y cuyos órganos reproductores son flotantes o aéreos. Las especies representativas son el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la Lenteja de agua (*Lemna sp.*) (Rodríguez *et al.*, 2010).

b) Sistemas de macrófitas sumergidas

Lo constituyen helechos, musgos, carófitas y angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente y sus órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos (Vizcaíno y Fuentes, 2016).

c) Sistemas de macrófitas enraizadas emergentes

Se construyen en suelos anegados permanente o temporalmente; con órganos reproductores aéreos y pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas, y está expuesta directamente a la atmósfera y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal y se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas (León y Lucero, 2009).

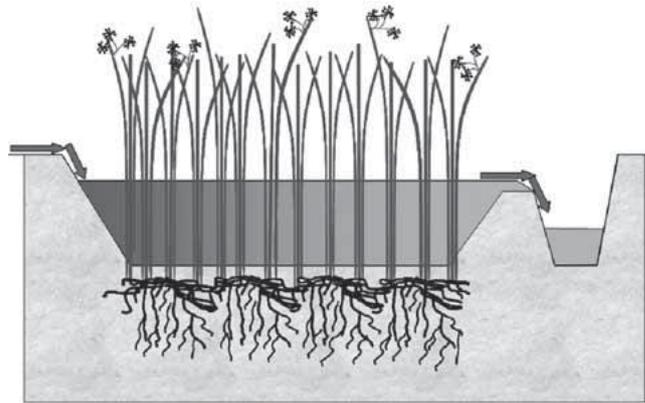


Figura 8: Humedal artificial de flujo superficial.

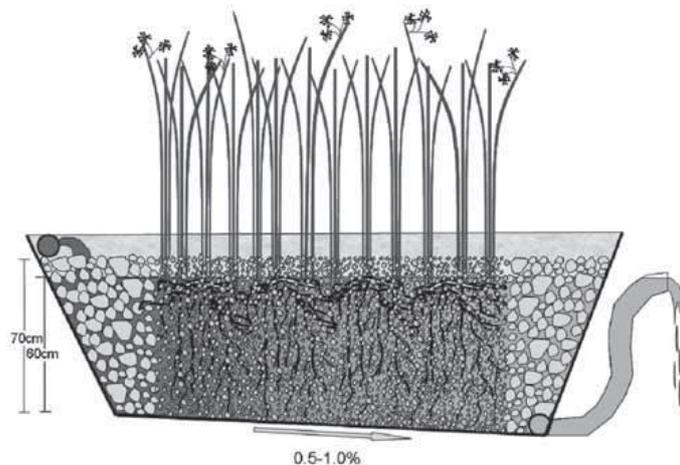


Figura 9: Humedal subsuperficial de flujo horizontal

3.2.4.4.1. Partes de un humedal artificial

Están constituidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, medio granular, macrófita y microorganismos (El-Gendy *et al.*, 2005).

a) Medio granular

En humedales con macrófitas enraizadas emergentes, el sustrato está formado por suelo, arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación y la principal característica del medio granular es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él (Mahmood, Zheng, Islam, Hayat, Hassan, Jilani & Jin, 2005).

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y del caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también éste medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Ramos *et al.*, 2007). Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica.

b) Agua residual

Velarde *et al.* (2011) define al agua residual como aquella que ha sido modificada por diversos usos, sean actividades domésticas o industriales y que fueron recogidas por una red de alcantarillado hasta ser conducido hacia el humedal. Según el uso precedente, estas aguas pueden contener una combinación de residuos sólidos y líquidos provenientes de casas, instituciones o actividades de carácter industrial. Metcalf (1995), muestra una clasificación de contaminantes y su posible procedencia.

Tabla 3: Clasificación de los contaminantes del agua residual

Contaminantes	Importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas, animales, la materia orgánica biodegradable se mide en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tenso activos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: (Metcalf, 1995).

c) Macrófita

La función de la macrófita dependerá fundamentalmente de sus raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico (Vizcaíno y Fuentes, 2016). Estas plantas transfieren oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Ramos *et al.*, 2007).

Tabla 4: Lista de las macrófitas más comunes

Tipo	Nombre común	Nombre científico
Plantas emergentes	Tule	<i>Thpha dominguensis Pers.</i>
	Tule	<i>Thpha latifolia L.</i>
	Tulillo	<i>Scirpus validus</i>
	Carrizo	<i>Phragmites spp.</i>
	Junco	<i>Juncus eleocharis</i>
	Alcatraz	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
	Gingibre	<i>Hedychium coronarium</i>
Plantas flotantes	Lentejuelas, lenteja de agua	<i>Lemma minor</i>
	Jacinto de agua, Lirio acuático	<i>Eichhornia crassipes</i>
	Ninfa	<i>Nymphaea spp.</i>

Fuente: (Mahmood *et al.*, 2005).

d) Microorganismos

Son los encargados de realizar el tratamiento biológico, en la zona superior del humedal donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios; en ambas situaciones se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Muñoz, 1993).

Los microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son

bacterias, levaduras, hongos y protozoarios; esta biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, desarrollándose de ésta forma un proceso de depuración en el humedal (El-Gendy *et al.*, 2005).

3.2.4.4.2. Mecanismo de depuración en un humedal

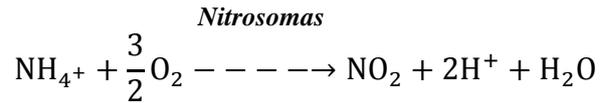
La remoción de materia orgánica del agua residual en un humedal natural o artificial ocurre mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica, la cual es realizada por los microorganismos que se encuentran adheridos a las raíces de la planta, y a la superficie de los sedimentos (Mahmood *et al.*, 2005).

Los microorganismos involucrados requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. Según su fuente de nutrientes, pueden ser heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, y los autótrofos utilizan dióxido de carbono como fuente de carbono (Hill y Jenkins, 1989).

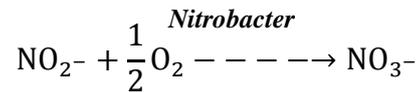
Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos. En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato, éste proceso es llamado nitrificación (León y Lucero, 2009).

a) Nitrificación

Requiere la presencia de oxígeno disuelto, amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. La oxidación en sí ocurre en dos estadíos, cada uno involucra diferentes especies de bacterias nitrificantes quimioautótrofas (Otálora, 2011).



En este paso, la liberación de iones de hidrógeno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7,5 a 8,6 (Jin *et al.*, 2002).

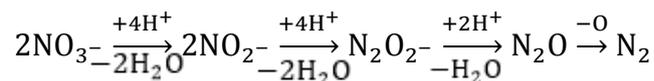


Los nitratos y nitritos al formarse en la solución del humedal son adsorbidos por cuerpos radiculares para la alimentación de las plantas macrófitas (Chernicaró y Borges, 1997).

b) **Desnitrificación**

Es producida por microorganismos desnitrificantes heterotróficos, tales como *Pseudomonas sp*, *Xanthomonas sp*, *Achromobacter sp*, *Bacterium sp* y *Bacillus sp*. En su mayoría son anaeróbicos facultativos, es decir, utilizan oxígeno como receptor del hidrógeno, pero también pueden usar nitratos y nitritos como sustitutos (Jin *et al.*, 2002).

Las reacciones de desnitrificación son las siguientes:



La velocidad de la desnitrificación biológica depende de las condiciones edafológicas. Ello ocurre cuando el oxígeno molecular es limitante y en condiciones de alta humedad, pH, temperatura, concentración de nitratos y condiciones redox (Metcalf, 1995).

c) **Remoción de fósforo**

El fósforo disuelto en el agua residual sufre la descomposición por medio de la carga bacteriana, adquiere formas como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. Cerca del 25 % del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos como PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4^- , que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato para las raíces de las plantas mediante adsorción y la formación de quelatos (Jin *et al.*, 2002).

3.2.4.4.3. Macrófita Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Eichhornia crassipes pertenece a la familia *Pontederiaceae* crece flotando sobre la superficie de arroyos y lagos de agua dulce; ya que sus raíces no están fijadas a ningún sustrato. Posee una raíz de tipo fibrosa y con muchas ramificaciones. El tallo es delgado, de él parten los peciolos que son esponjosos. Las hojas son lobuladas de un color verde característico por ser muy brillante (Mahmood *et al.*, 2005).

Posee flores de color malva a casi violeta. Se propaga rápidamente por medios vegetativos. Cada planta produce estolones en cuyos extremos se forman nuevas plántulas. Su hábito de desarrollo y multiplicación le permite cubrir rápidamente grandes extensiones de agua (León y Lucero, 2009).



Figura 10: Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Esta macrófita a veces enraíza en el lodo al bajar el nivel del agua. Crece en aguas blandas o medianamente duras, a una temperatura de 15 a 30 °C y con luz natural clara y no toleran el clima frío; las hojas y las flores mueren en condiciones de congelamiento, es decir no puede vivir en lugares donde la temperatura del invierno es en promedio 1°C ó menos (El-Gendy *et al.*, 2005).

El cultivo del Jacinto de agua llega a formar masas de vegetación densa que puede obstruir los cursos de agua o dificultar el acceso de personas o aves, para ello se recurre a métodos mecánicos de control (a veces métodos químicos) para arrastrar las plantas hasta la orilla para su extracción, donde llegan a morir por falta de agua (Mahmood *et al.*, 2005). La mayoría de los sistemas de

tratamiento con Jacinto de agua están compuestos por lagunas rectangulares dispuestas en serie. Las estructuras de entrada del afluyente varían desde vertederos en concreto o madera hasta tuberías de distribución perforadas con salidas múltiples. El objetivo es proveer un sistema de poco mantenimiento que pueda distribuir uniformemente el agua residual (Vizcaíno y Fuentes, 2016).

Existen varios estudios sobre la remoción de nutrientes de las aguas residuales, por parte del Jacinto, con valores, que dependiendo de las condiciones de cultivo, han variado entre 1980 kg de N/ha.año y 322 kg de P/ha.año hasta 7887 kg de N/ha.año y 1978 kg de P/ha.año (Rodríguez *et al.*, 2010).

El-Gendy *et al.* (2005) reporta la reducción de la DBO5 cercana al 97 %, sólidos suspendidos totales en un 95%, nitrógeno y potasio en 99 %, sílice en el 87 % y fosfato alrededor del 65 %, perdiéndose agua por evaporación superior al 50 % del volumen aplicado, lo cual reduce significativamente el volumen de aguas residuales que se tienen que tratar.

3.2.4.4.4. Macrófita Lenteja acuática (*Lemna minor*)



Figura 11: Lenteja de agua (*Lemna minor*)

La familia *Lemnaceae*, comprende un grupo de pequeñas plantas acuáticas de rápido crecimiento, que se caracterizan por formar extensos mantos sobre cuerpos de agua con movimiento léntico; su reproducción generalmente es vegetativa. El contenido de proteína que se reporta oscila entre 13 – 41 %, y depende del contenido de nitrógeno en el medio en el cual se desarrolla (Olguín *et al.*, 1998).

Tiene preferencia por el consumo de amonio sobre el nitrato, y asimila una

variedad de metales, razón por la cual se ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas con excelentes resultados. Las producciones de materia seca obtenidas se reportan entre 10 - 46 TM/ha.año. Son consumidas por una gran variedad de animales de interés zootécnico, como aves, rumiantes, no rumiantes, crustáceos y peces; los géneros *Spirodela*, *Lemna* y *Wolffia* se han utilizado para alimentación de tilapia con resultados variables (Rodríguez *et al.*, 2010).

Los mejores índices productivos, corresponden a la utilización como parte integral de la dieta, con inclusión de 5 - 30 %, sustituyendo parcial o totalmente a la torta de soja, principalmente y resultados similares cuando se sustituye fuentes de proteína animal. Cuando es utilizada como única fuente de alimentación, a una tasa que no debe exceder el 6 % del peso corporal (base seca), los resultados son muy inferiores a los obtenidos con las dietas convencionales (León y Lucero, 2009).

3.2.4.4.5. Normatividad legal para aguas residuales domésticas

La descarga de las aguas residuales tiene una legislación vasta específica sobre los límites máximos permisibles de tolerancia cuando son vertidos a un cuerpo de agua dulce, como una quebrada, tal como se aprecia en la siguiente tabla (MINAG, 2008).

Tabla 5: Límites permitidos para descargas residuales

Indicador	Unidad de medida	Concentración permitida
Aceites y grasas	mg/L.	20
Coliformes	NM/100 ml	10000
DBO	mg/L.	100
DQO	mg/L.	200
Sólidos totales en suspensión	mg/L.	150
Temperatura	°C	< 35 °C
pH	Unidad	6,5 – 8,5

Fuente: (D.S. N° 003-2010-MINAM, 2010).

Estas exigencias técnicas están sustentadas en leyes marco para su cumplimiento en las tres líneas de gobierno: Nacional, regional y local.

- La Ley General del Ambiente N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible corresponde al Ministerio del Ambiente.
- Ley General de Aguas N° 17752, y su Decreto Supremo N° 002-2008–MINAM clase 3, norma la calidad de las aguas continentales superficiales de manera que sean aptas para el uso agrícola y bebida de animales domésticos, maximizando los beneficios sociales, económicos, medioambientales y culturales.
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, establece que es la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, responsable de su funcionamiento; dicta normas y establece procedimientos para la gestión integrada y multisectorial de recursos hídricos por cuencas hidrográficas y acuíferos.
- Ley de Gestión Ambiental N° 28611 y su Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

3.3. Definición de términos básicos

3.3.1. Agua residual

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

3.3.2. Adsorción

Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de una materia (Paez y Rubio, 2009).

3.3.3. Aerobio

Proceso que se desarrollan con la presencia del oxígeno.

3.3.4. Anaerobio

Procesos que se producen en la ausencia del oxígeno.

3.3.5. Contaminante

Es toda sustancia liberada por fenómenos naturales o antrópicos que causa alteración al medio ambiente

3.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aerobio (Masters y Ela, 2008).

García (2012), es un indicador de la cantidad de sustancias orgánicas de origen biológico (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites) y de productos químicos orgánicos sintéticos y biodegradables en las aguas residuales.

3.3.7. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros de gran importancia al momento de evaluar la calidad de agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existe condiciones aeróbicas se produce una descomposición que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Cuando ya se ha consumido todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos que dan olores fétidos al agua (García, 2012).

3.3.8. pH o concentraciones de iones hidrógeno

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución (pH). En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5. Valores elevados (mayores a 9,2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de *E. coli*. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9 (situándose los más favorables entre 6,5 y 8,5) la vida de especies acuáticas es favorecida (Delgadillo *et al.*, 2010). En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (Cartró, 2003).

3.3.9. Macrófitas

Plantas herbáceas de origen acuático (Paez y Rubio, 2009)

3.3.10. Nitrógeno

En las aguas residuales, a excepción de unos pocos vertidos industriales, el nitrógeno es escaso: fundamentalmente como amonio (por hidrólisis de la urea), proteínas, aminos y escasas cantidades de nitratos. El contenido total de nitrógeno, en los análisis de aguas, está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico (Delgadillo *et al.*, 2010).

3.3.11. Turbidez

Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua (Cárdenas, 2005).

3.3.12. Conductividad eléctrica

Se define a la conductividad eléctrica como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Crites y Tchobanoglous, 2000). El valor de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

3.3.13. Sólidos sedimentables

Se consideran sólidos sedimentables a aquellos sólidos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en un tiempo de 60 min (Delgadillo *et al.*, 2010).

En lo referente al tratamiento de agua Da Cámara, Hernández y Paz (2003), indican que este parámetro se utiliza para conocer el volumen y la densidad que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Su análisis se realiza por volumetría y gravimetría, previa decantación y tamizado. Los tamaños de estos sólidos son mayores de 0,01mm. Los sólidos sedimentables pueden ser expresados en unidades de ml/l o mg/l.

3.3.14. Fitorremediación

Es una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos e incluso aire (Mejía, 2013).

IV. MATERIAL Y MÉTODO

La metodología que se utilizó empleó un tratamiento inductivo y deductivo, como métodos auxiliares de trabajo se emplearon instrumentos propios de la zona, desde la construcción del humedal hasta la macrófita que se sembró para la depuración biológica de las aguas con procedencia de la planta de tratamiento el Molino, en Chachapoyas.

4.1. Descripción de la PTAR El Molino

El anexo del Molino, se ubica al suroeste de la ciudad de Chachapoyas entre los 2124 – 2335 msnm, constituido por una sola vía de 1500 m construida a mediados del siglo XX sobre el recorrido el Capaq Ñan, que hasta finales del mismo siglo fue la entrada principal a la ciudad de Chachapoyas (IIAP, 2010).

La temperatura oscila entre los 20 – 25 °C, la fisiografía del terreno presenta una moderada pendiente con inclinación al oeste y por el sur oeste; y en sus alrededores presenta la formación de zonas montañosas, en temporadas de lluvias se producen deslizamientos debido a la presencia de canteras, pérdida de bosques primarios; existen dos quebradas presentes en el anexo, denominados Yuraj yacu (la cual transcurre por la parte sur-este del poblado) y Bishohuayco, la que es principalmente afectada por el efluente de la PTAR (ubicada en la parte baja de la población con dirección sur-oeste) de las cuales también son usadas sus aguas para los regadíos de chacras aledañas a las mismas (IIAP, 2010).

Sin embargo dicha planta se encuentra en condiciones poco favorables que hacen difícil su completa eficiencia. Además, el efluente no cumple con los LMPs establecidos según D.S. N° 003-2010-MINAM, como para ser desembocados a un cuerpo de agua receptor, en este caso la quebrada Bishohuayco, la misma que presenta deplorables condiciones en cuanto a calidad debido a su contaminación procedente de la PTAR.

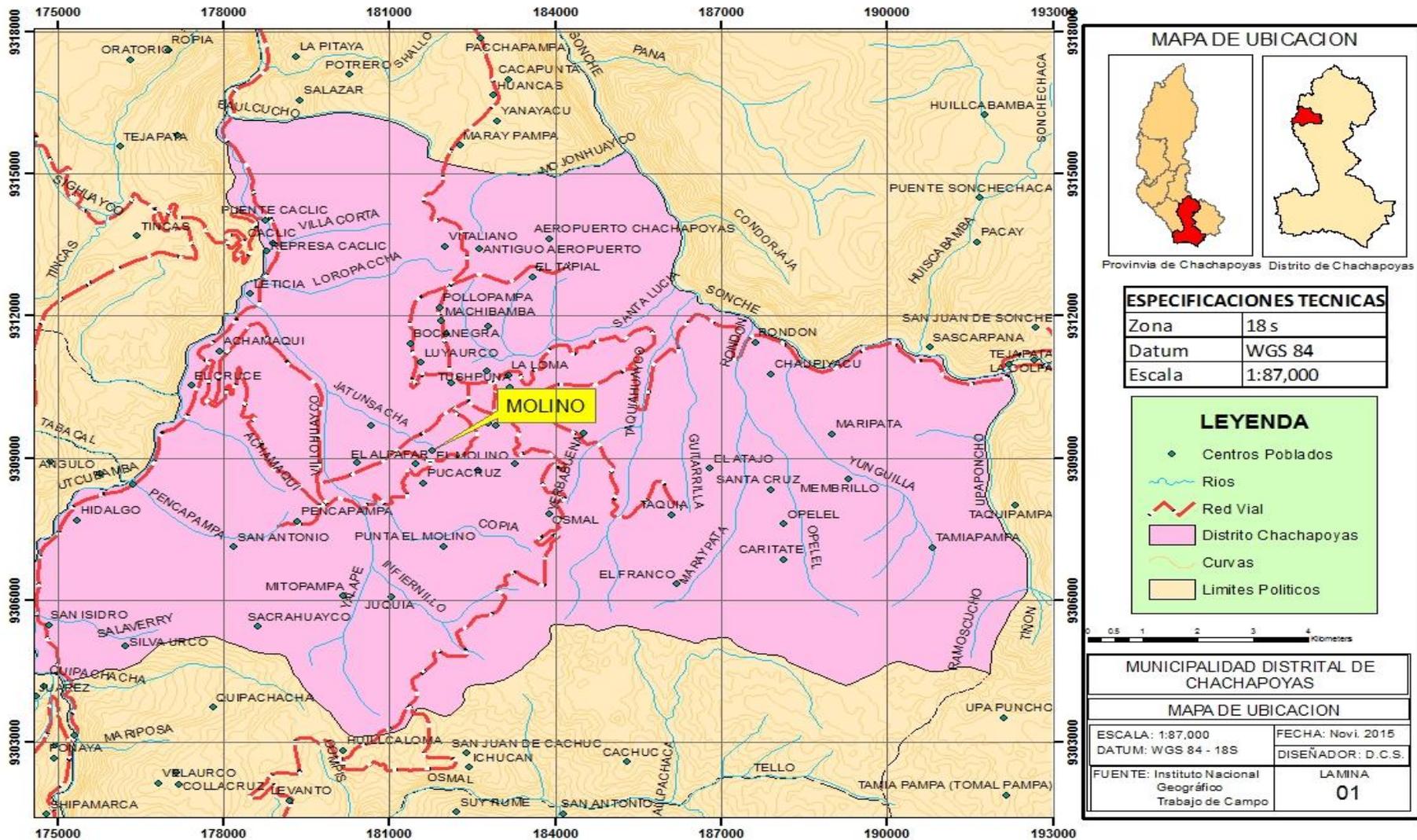


Figura 16: Mapa de la Ubicación Política del Anexo El Molino – Chachapoyas.

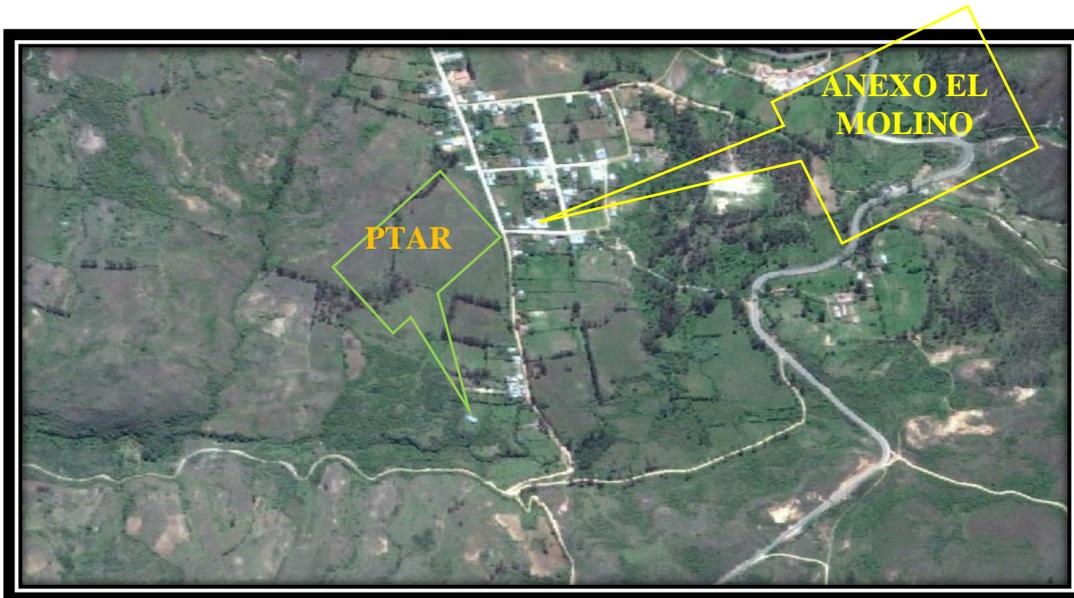


Figura 12: Vista espacial de la PTAR del anexo El Molino – Chachapoyas.

Actualmente existe una planta de tratamiento de aguas residuales la cual consta de procesos como: una cámara de rejas que tiene la función de impedir el pase de residuos de dimensión mayor que pueda alterar los demás procesos, seguido viene el proceso de sedimentación en donde las partículas precipitan y se acumulan en la parte inferior para luego ser evacuados, a continuación, se encuentra dos sistemas de filtración la cual contiene piedra mediana y arena que cumple la función de purificar el agua a través de la eliminación de sólidos totales.



Figura 13: Vista panorámica en El Molino – Chachapoyas.

4.2. Caracterización de las aguas de la PTAR El Molino

Una de las primeras acciones que se realizó fue la caracterización física - química y microbiológica de las aguas domésticas que ingresaron (afluente) a la planta de tratamiento de aguas residuales de El Molino. Para ello, se eligió el punto de muestreo que fue a la salida de la unidad de desbaste. Es decir, el afluente fue resultado del agua tamizada de sólidos (animales muertos, excrementos, otros.).

4.2.1. Toma de muestras

En el proceso de recolección de agua residual se tomaron en cuenta dos aspectos importantes para evitar estar en contacto directo con el foco de infección: Las medidas de seguridad y la técnica de recolección.

- **Medidas de seguridad**

Como norma general se tomaron previsiones para evitar contaminarse o enfermarse, por ello se siguieron las recomendaciones efectuadas por Metcalf y Eddy (1995), es decir, que las manos que estuvieron en contacto con el líquido fueron protegidas con un material impermeable como guantes de goma y además se hizo uso de una mascarilla que evitó la absorción de gases y vapores, los que se formaron como consecuencia normal de los procesos de fermentación.

- **Recolección de la muestra**

Se tomaron todas las recomendaciones formuladas por Metcalf y Eddy (1995) que garantizó que la muestra fuera realmente representativa de toda el agua residual doméstica. Uno de los problemas en éste sentido, es que el agua fluía con restos de sedimentos orgánicos. Las medidas fueron las siguientes:

- a) El recipiente se enjuagó dos veces con la muestra del agua residual.
- b) Se evitó tomar agua desde la orilla. La muestra fue tomada a la mayor profundidad posible, pero al mismo tiempo se evitó tocar y acopiar sedimentos.
- c) Se utilizó una varilla de madera para tener distancia del foco de infección.

El muestreo fue el siguiente:

- Se utilizaron 6 botellas de plástico de 1500 ml., las cuales fueron rotuladas

con código y fecha del muestreo, es decir:

Material	Contenido	Fecha de muestreo
Frasco 1	Agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento.	05/02/2017
Frasco 2	Agua tratada que sale de la planta de tratamiento	05/02/2017

- Antes de llenarse los frascos se enjuagaron tres veces con la muestra del agua residual que se iba analizar.



Figura 14: Toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales El Molino.

Botella plástica 1: Contenía agua cruda procedente del humedal construido para la macrófita Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), dicha muestra fue tomada de las dos repeticiones tanto del humedal 1 y del humedal 2, debidamente homogenizadas, muestra tomada el 12 de marzo de 2017.

Botella plástica 2: Contenía agua cruda procedente del humedal construido para la macrófita Lenteja de agua (*Lemma minor*), muestra tomada el 12 de

marzo de 2017.

Botella plástica 3: Contenía agua cruda que sale de la poza testigo, muestra tomada el 12 de marzo de 2017.

Todas las muestras del agua residual que se recolectaron antes de que ingrese al humedal y luego de su depuración en el humedal se enviaron para el análisis físico, químico y biológico al acreditado Laboratorio Rivelab SAC – Trujillo, para acreditación de los resultados. El requerimiento de estos análisis fue:

- Sólidos totales.
- Sólidos totales disueltos.
- Sólidos en suspensión.
- DBO.
- DQO.
- Nitrógeno total (Kjeldah).
- Fósforo total mg/l.
- Coliformes NMP/100 ml. (número de microorganismos por cada 100 ml.).

En la misma planta de tratamiento de aguas residuales El Molino, se realizó el análisis in situ de la conductividad eléctrica y del pH con los instrumentos facilitados por el laboratorio de Aguas y Suelos del Instituto de la Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES).

4.3. Técnica aplicada In-situ

4.3.1. Determinación del pH

El método se basó en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ . La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varió linealmente con el pH del medio, que en éste caso fueron las muestras de agua residual tomadas al instante.

Se utilizó el equipo Multiparamétrico del laboratorio de Aguas y Suelos del (INDES-CES), debidamente calibrado.

- Se lavó el electrodo del pHmetro con agua destilada.

- Se transfirió un volumen de agua residual del humedal artificial a un vaso para que facilite la introducción del electrodo
- Se encendió el pHmetro y se dejó un determinado tiempo en reposo para hallar la estabilidad del electrodo dentro del vaso con la muestra de agua residual.
- Dejar que mida el pH, hasta que se estabilice.
- Se tomó medida del pH indicado en el Multiparamétrico.
- Una vez realizada la medición se lavó el electrodo correspondiente y se guardó.



Figura 15: Medición del pH del agua residual.

4.3.2. Determinación de la conductividad eléctrica

La metodología se basó en encontrar la resistencia, en ohmios o mega-ohmios. La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en micro-mho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), equivalentes a micro-siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) o mili-siemens por centímetro (mS/cm) en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.). La unidad para la conductividad fue $\mu\text{S/cm}$ = micro-Siemens por centímetro.

Para la evaluación de éste análisis se requirió la utilización del equipo

multiparametrico del laboratorio de Aguas y Suelos del (INDES-CES), debidamente calibrado

- La lectura de la conductividad eléctrica, se realizó in situ dentro de la misma planta de tratamiento de aguas residuales El Molino.
- Se lavó el electrodo del conductímetro con agua destilada.
- Se introdujo el electrodo en la misma muestra donde se midió el pH anteriormente
- Se encendió el multiparametrico y se dejó un determinado tiempo en reposo para hallar la estabilidad del electrodo del conductímetro dentro del vaso con la muestra de agua residual.
- Dejar que mida la conductividad eléctrica, hasta que se estabilice.
- Se tomó medida de la conductividad eléctrica indicado en el Multiparamétrico.
- Una vez realizada la medición se lavó el electrodo correspondiente y se guardó.



Figura 16: Medición de la conductividad eléctrica

4.4. Diseño de los humedales artificiales

Para el diseño del humedal se utilizó una adaptación de la ecuación de Robert Manning, ésta ecuación es apropiada por su simplicidad de forma y resultados satisfactorios para

estanques de agua.

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{A \cdot \exp [-0,7 (K_T) (A_v)^{1,75} (L) (W) (y) (n)]^2}{Q}$$

Donde:

C_e = Concentración de DBO_5 del efluente, mg/L.

C_o = Concentración de DBO_5 del afluente, mg/L.

A = Fracción de la DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema, es una variable que depende de la calidad del agua (es una fracción decimal).

K_T = Constante de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1} .

A_v = Superficie específica de actividad microbiológica, m^2/m^3 .

L = Longitud del sistema, m.

W = Ancho del sistema, m.

y = Profundidad promedio del sistema, m. (valores típicos: 0,1 – 0,50 m).

n = Porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal (valores típicos: 0,65 – 0,75), se asume para cálculos 0,75.

Q = Caudal promedio en el sistema, m^3/d . (valor estimado a partir del gasto de agua: 0,041 m^3/hr).

El factor A , adquirió un valor estimado entre 0,70 y 0,85, valores que fueron asumidos por ser tratamientos secundarios, tal como lo son los humedales de macrófitas.

El valor A_v en filtros percoladores y biodiscos corresponde en su totalidad al área mojada, para el caso del biosistema acuático fue la medida del área superficial de la porción de la vegetación y que estuvo en contacto con el agua residual. Por tanto, el valor de A_v será 15,7 m^2/m^3 que es un valor recomendado por algunas publicaciones. Dado que el área superficial del biosistema (A_s) es igual a $(W)(L)$ se hace posible sustituir y reordenar la ecuación (1) para poder estimar el área requerida para el humedal artificial.

$$A_s = \frac{Q [\ln(C_o) - \ln(C_e) + \ln(A)]}{K_T (y)(n)} \quad \text{----- (2)}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal artificial, m^2 .

n = 0,65 – 0,75 (los valores menores son para vegetación densa y madura).

$$K_T = K_{20}(\theta)^{(T-20)}.$$

Los valores de K_{20} se formulan en la siguiente tabla:

Tabla 6: Valores típicos de K (d^{-1}), a 20 °C.

Agua residual	K (d^{-1})
Doméstico débil	0,35
Doméstico fuerte	0,39
Efluente primario	0,35
Efluente secundario	0,12 – 0,23

Fuente: (Romero, 2005).

Debido a que el humedal artificial es considerado un tratamiento secundario, se asumió para los cálculos un valor de K igual a $0,23 d^{-1}$.

Para determinar los valores de θ , se recurre a la misma referencia anterior:

$$\theta = 1,135 \text{ para } T = 4 - 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\theta = 1,056 \text{ para } T = 20 - 30 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\theta = 1,047 \text{ para } T > 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Dado que la temperatura promedio en El Molino fue de $31,6 \text{ }^\circ\text{C}$, se asumió un valor de $\theta = 1,047$.

La ecuación (2) brinda el área superficial, sin embargo, por la dificultad para determinar A y A_v , se realiza una segunda aproximación a partir del análisis de los datos de rendimiento de sistemas similares a superficies libres. Entonces, el área del humedal se determinó por la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T (y) (n)} \text{ ----- (3)}$$

Q = Caudal (valor estimado a partir del gasto de agua: $0,041 m^3/hr$).

A_s = Área del humedal artificial, m^2 .

K_T = Constante de temperatura, d^{-1} .

y = Profundidad del diseño del biosistema, (se asumió 0,5 m. por su practicidad).

n = Porosidad del humedal (valores típicos 0,65 –0,75), se asumió para cálculos 0,75.

La ecuación (3) es la que mayormente se utiliza, por consiguiente, ésta ecuación fue la base la determinación del área del diseño de humedales superficiales, como el propuesto para la presente investigación, en base al Jacinto de agua.

4.5. Construcción del humedal

Se construyeron cuatro humedales artificiales, para los siguientes tratamientos:



Figura 17: Construcción de los humedales

a. Humedal 1: Fue construido para contener el agua residual doméstica a ser tratada con la macrófita Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

b. Humedal 2: Para repetir el proceso anterior, es decir almacenó agua residual doméstica a ser tratada con la macrófita del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

c. Humedal 3: Fue construido para contener el agua cruda a ser tratada con la macrófita Lenteja de agua (*Lemna minor*),

d. Testigo: Fue construido para contener el agua residual doméstica que no recibió

ningún tratamiento, es decir, no contuvo ninguna macrófita.

4.6. Descripción del humedal construido

Cada humedal artificial de flujo superficial construido, estuvo formado por pozas o celdas rectangulares de 2 m x 0,6 m por una profundidad de 0,50 m.

Las pozas fueron excavadas 0,60 m en el sustrato natural de la misma planta de tratamiento de aguas residuales El Molino – Chachapoyas. No hubo necesidad de realizar taludes verticales por cuanto las pozas fueron bajo tierra y solo a medio metro de profundidad, la pendiente longitudinal entre la entrada y la salida de los estanques fue del 1 % hacia la sección de egreso.

La conducción y erogación del agua se realizó con una manguera de PVC de 1” de diámetro, instalada en la desembocadura de una trampa de PVC agujereada de 25 cm de longitud para evitar el ingreso de sólidos gruesos a las pozas. El agua drenó a cada humedal por la gravedad natural, es decir, no se requirió ninguna unidad de bombeo adicional. Una vez realizadas las excavaciones se procedió a lisar las superficies interiores para evitar incrustaciones que puedan cortar o perforar el material impermeable, que para la presente investigación fueron láminas de Polietileno comercial. Para el anclaje del revestimiento de Polietileno bajo la tierra, se debió excavar una zanja de anclaje perimetral la cual fue rellenada con el mismo material proveniente de la excavación de la poza.

4.7. Recolección de semillas del Jacinto de agua y Lenteja de agua

Para el acopio del Jacinto de agua, se ubicó una zona cercana al centro poblado El Molino, donde por lo general existieron drenajes de agua de forma natural o antropogénica que originaron el ecosistema ideal para el crecimiento de ésta macrófita. Ésta planta en la mayoría de los casos ha sido catalogada como una maleza acuática, por generar un enraizamiento de su matriz radicular debajo de la superficie del agua, generando en la mayoría de los casos una red que impide el paso natural del agua.

Para la recolección de semillas de la macrófita se tomó en cuenta las recomendaciones de Jaramillo y Flores (2012), quienes afirman que la especie de *Eichhornia crassipes* y *Lemma minor* deben tener las siguientes condiciones:

- Que tengan una buena pigmentación
- Que no presenten ninguna anomalía en cualquiera de sus partes.
- Que sean plantas jóvenes, en el caso del Jacinto de agua se les conoce por el color azulado de sus raíces.
- Para la *Eichhornia crassipes* se seleccionó las semillas que posean un buen espesor radicular, y en el que presentaban necrosis en las hojas se les retiraba para que no afecte a los demás.



Figura 18: Acopio de semillas de Jacinto de agua bajo cultivo natural.



Figura 19: Humedales construidos con láminas de polietileno comercial.

V. RESULTADOS

Una de las primeras acciones fue realizar la caracterización de las aguas residuales al ingresar a la planta de tratamiento, es decir el agua cruda sin tratamiento. Para ello, se midió la conductividad eléctrica del agua que salió de la unidad de desbaste y aquella que salió del filtro percolador, que es el paso previo a la quebrada.

5.1. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica al inicio en la unidad de desbaste fue de 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y luego de pasar por toda la planta de tratamiento en el filtro percolador disminuyó hasta 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

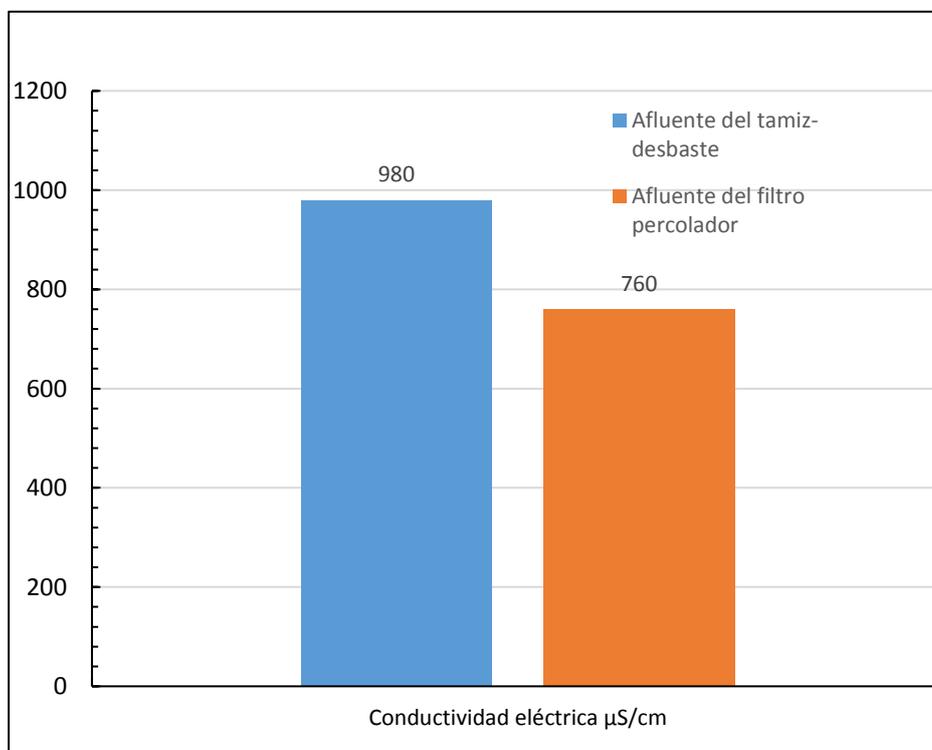


Figura 20: Conductividad eléctrica del afluente y efluente en la PTAR El Molino.

5.2. pH

Al tomar la medición en la unidad de desbaste el pH del afluente fue de 7.8 mientras que al atravesar todo el sistema de tratamiento que ocurre en la PTAR a la salida del filtro percolador el cual ya desemboca en la quebrada Bishohuayco resultó de 6.3

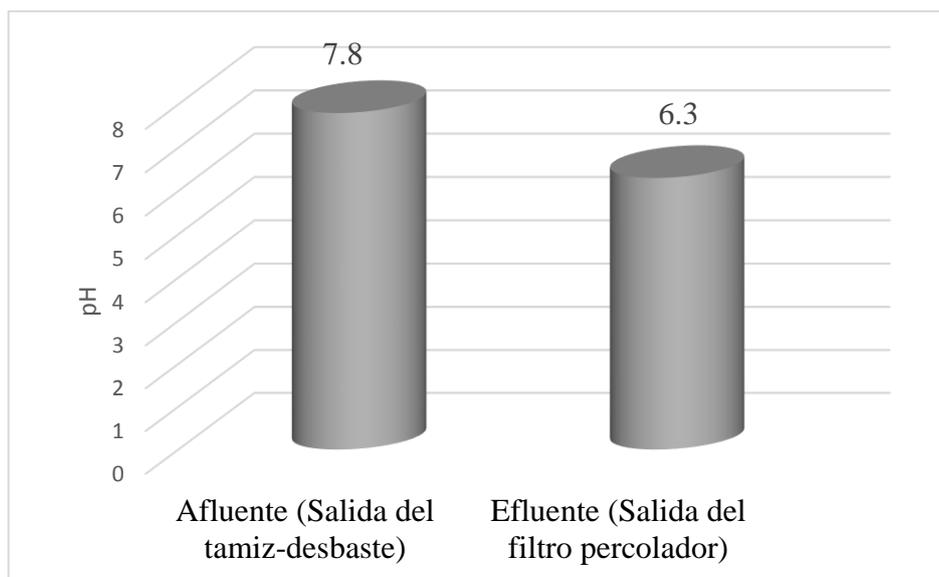


Figura 21: pH del afluente y efluente en la PTAR El Molino

5.3. Afluente de la PTAR el Molino

Tabla 5. Caracterización del afluente en la PTAR, El Molino.

Análisis químico	Afluente
Sólidos totales	710 mg/L.
Sólidos totales disueltos	492 mg/L.
Sólidos en suspensión	218 mg/L.
DBO	245 mg/L.
DQO	318 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah)	38 mg/L.
Fósforo total mg/L	11,3 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml	4,5 x 10 ⁸ .

Fuente: Elaboración propia.

La demanda biológica de oxígeno es uno de los parámetros de calidad de agua que se deben realizar las mediciones correspondientes para determinar si una descarga afecta negativamente a la composición natural y saludable del agua de una fuente natural.

En la caracterización del afluente que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales del anexo el Molino se logra visualizar una alta carga contaminante previo análisis realizado la DBO arroja una concentración 245 mg/L y la demanda química de oxígeno que es un parámetro que en la mayoría de las veces mayor que la DBO, en este caso arroja una la concentración de la DQO es 318 mg/L.

Uno de los parámetros altos en la caracterización de las aguas residuales que provienen de los centros urbanos son los Coliformes ya que su presencia es imprescindible en la composición de estas aguas por el hecho de estar presentes en los restos fecales que es producto de los procesos fisiológicos de los seres vivos en este caso encontramos que la cifra asciende a $4,5 \times 10^8$.

5.4. Efluente de la PTAR El Molino

Tabla 7: Caracterización del efluente en la PTAR, El Molino.

Análisis químico	Efluente
Sólidos totales	285 mg/L.
Sólidos totales disueltos	199 mg/L.
Sólidos en suspensión	86 mg/L.
DBO	162 mg/L.
DQO	229 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah)	31 mg/L.
Fósforo total mg/L	10,2 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml	$2,7 \times 10^8$.

Fuente: Elaboración propia

En los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales el afluente que ingresa es sometida a distintos tratamientos donde el contaminante orgánico reduce ya sea por sedimentación, adsorción y biodegradado por parte de los microorganismos que se desarrollan en el interior de las estructuras. Con respecto al afluente una gran parte de los sólidos queda atrapada por procesos físicos de sedimentación o filtración cuando atraviesa los lechos filtrantes de grava en el filtro percolador

5.5. Efluente del humedal con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Tabla 8: Análisis del efluente del humedal con Jacinto de agua

Análisis químico	Efluente
Sólidos totales	85 mg/L.
Sólidos totales disueltos	60 mg/L.
Sólidos en suspensión	25 mg/L.
DBO	32 mg/L.
DQO	73 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah)	20 mg/L.
Fósforo total mg/L	7,9 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml	9 x 10 ⁷ .

Fuente: Elaboración propia.

El agua que sale de la unidad de desbaste (criba) en la PTAR del anexo El Molino fue sometido a un tratamiento biológico donde se construyó un prototipo de un humedal artificial con macrófita flotante (*Eichhornia crassipes*), en el cual tuvo un tiempo de retención hidráulica para que suceda los procesos de fitorremediación donde la planta absorbe los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual y los toma como fuente de alimento para su propio desarrollo.

De los sólidos totales que en un inicio que fueron 710 mg/L, posteriormente luego de sufrir un tratamiento pasando por el humedal artificial piloto instalado la cifra reporta 85 mg/L.

La DBO que en un inicio en su análisis de laboratorio fue de 245 mg/L en el agua antes que ingresara al humedal para su tratamiento; posteriormente de estar sometido a tratamiento fruto de la absorción de los contaminantes por parte de la especie *Eichhornia crassipes*; La DBO que arroja es de 32 mg/L mejorando de esta forma la calidad de agua y reduciendo sus efectos negativos al ser vertidos a la fuente de agua superficial de la quebrada Bishohuayco.

5.6. Efluente del humedal con Lenteja de agua (*Lemna minor*)

Tabla 9: Análisis del efluente del humedal con Lenteja de agua

Análisis químico	Efluente
Sólidos totales	580 mg/L.
Sólidos totales disueltos	414 mg/L.
Sólidos en suspensión	166 mg/L.
DBO	201 mg/L.
DQO	279 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah)	36,1 mg/L.
Fósforo total mg/L	10,7 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml	2,2 x 10 ⁸ .

Fuente: Elaboración propia.

Una de las especies que se adapta también a los pisos altitudinales en los contornos de la ciudad de Chachapoyas es la Lenteja de Agua, el cual posee las propiedades de absorber contaminantes por lo tanto se utilizó también en la presente investigación. En lo cual al depositarlo en el humedal artificial, se dio muy pequeñas reducciones de los parámetros de calidad de agua como la DBO que en el afluente era 245 mg/L, luego de pasar el tiempo de retención hidráulica se ha reducido a 201 mg/L y al compararlo con los LMPs no tiene una buena significancia utilizarlo como especie depuradora en proyectos a mayor escala en la jurisdicción del anexo El Molino.

Los sólidos totales en el afluente reportó 710 mg/L, luego de recibir su tratamiento en el humedal con *Lemna minor* la cifra redujo a 580 mg/L.

5.7. Efluente del Testigo

Tabla 10: Análisis del efluente del humedal testigo

Análisis químico	Efluente
Sólidos totales	653 mg/L.
Sólidos totales disueltos	453 mg/L.
Sólidos en suspensión	200 mg/L.
DBO	233 mg/L.
DQO	306 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah)	37,2 mg/L.
Fósforo total mg/L	11 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml	4,1 x 10 ⁸ .

Fuente: Elaboración propia.

Las aguas residuales de origen doméstico por su propia naturaleza presentan una capacidad de autodepuración que consiste en la remoción lenta de los contaminantes constituyentes del afluente. Los sólidos totales antes de ser depositados en el humedal testigo se encontraron en una concentración de 710 mg/L y luego de haber permanecido un tiempo de retención hidráulica se le volvió a medir obteniendo como concentración final 653 mg/L.

Un indicador de la concentración de materia orgánica biodegradable en el agua residual es la DBO lográndose reducir de 245 mg/L hasta 233 mg/L, la remoción es mínima por la ausencia de ninguna macrófita que pueda absorber los nutrientes presentes, las reducciones se dieron por la acción de ciertos microorganismos así como también la ocurrencia de fenómenos físicos como la sedimentación; los demás nutrientes como el fósforo y nitrógeno se removieron por la asimilación de los microorganismos que se desarrollaron en dicho humedal.

5.8. Remoción de sólidos totales

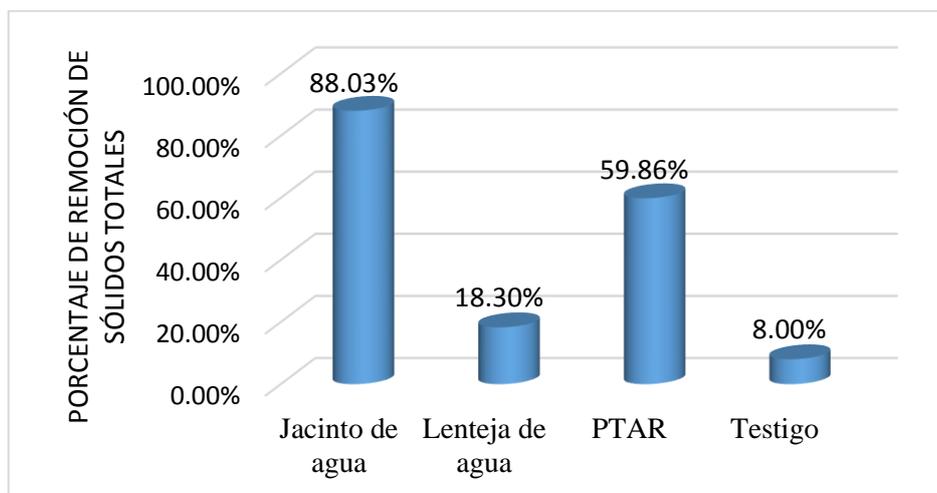


Figura 22: Remoción de sólidos totales

En la Figura 22 se logra verificar que el más eficiente en remover los sólidos totales es al aplicar *Eichhornia crassipes* con un 88.03%, mientras que *Lemna minor* logró remover 18.30% y la PTAR con el Testigo solo removieron 59.86% y 8.00% respectivamente.

5.9. Remoción de la DBO₅

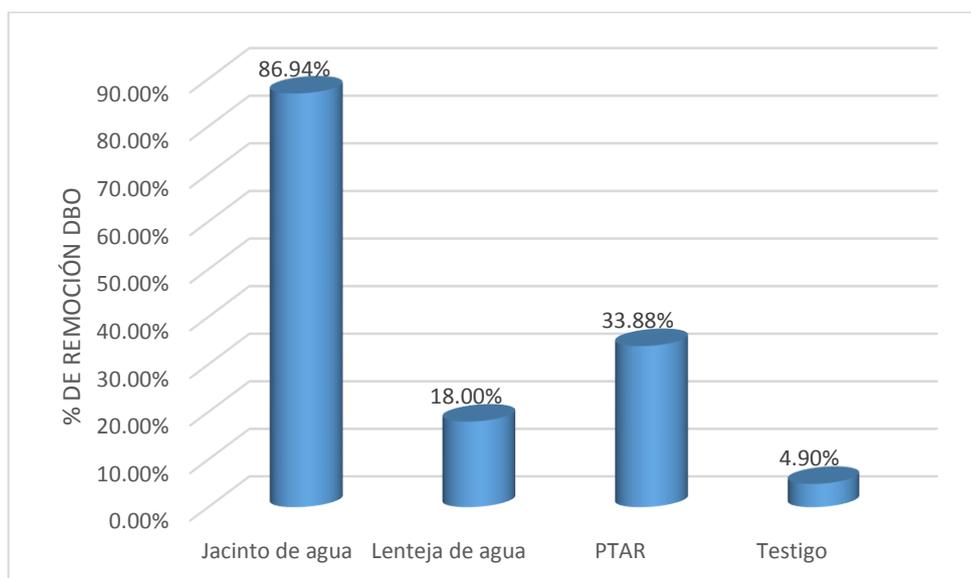


Figura 23: Remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno

En la Figura 23 se muestra la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno donde la aplicación de *Eichhornia crassipes* representa la mayor eficiencia con 86.94%,

mientras que *Lemna minor* removió el 18.00%, la PTAR y el Testigo removieron el 33.88% y 4.90% respectivamente.

5.10. Remoción de la DQO

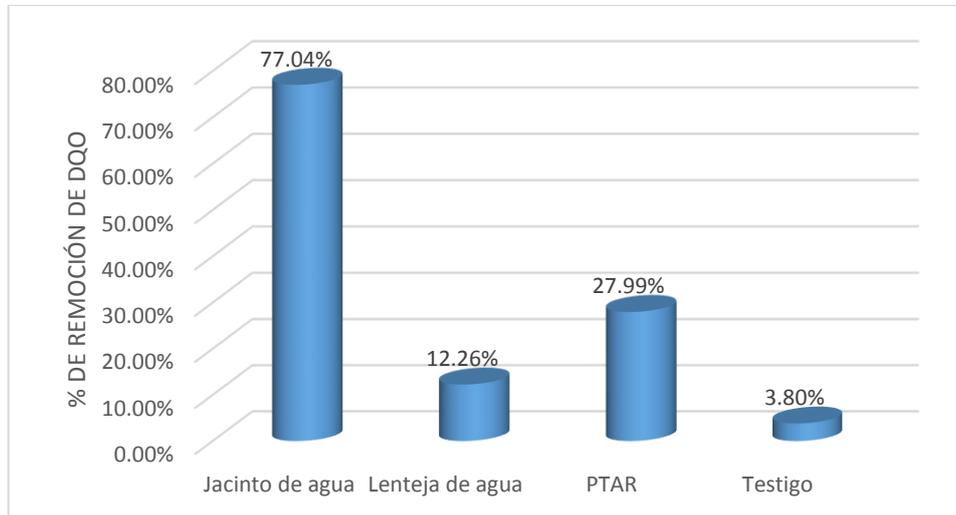


Figura 24: Remoción de la demanda química de oxígeno

En la Figura 24 representa la remoción de la demanda química de oxígeno en el cual, al aplicar *Eichhornia crassipes* se logra remover el 77.04% siendo esta macrófita el más eficiente, *Lemna minor* removió el 12.26%, la PTAR y el Testigo lograron remover el 27.99% y 3.80% respectivamente.

5.11. Remoción de nitrógeno total

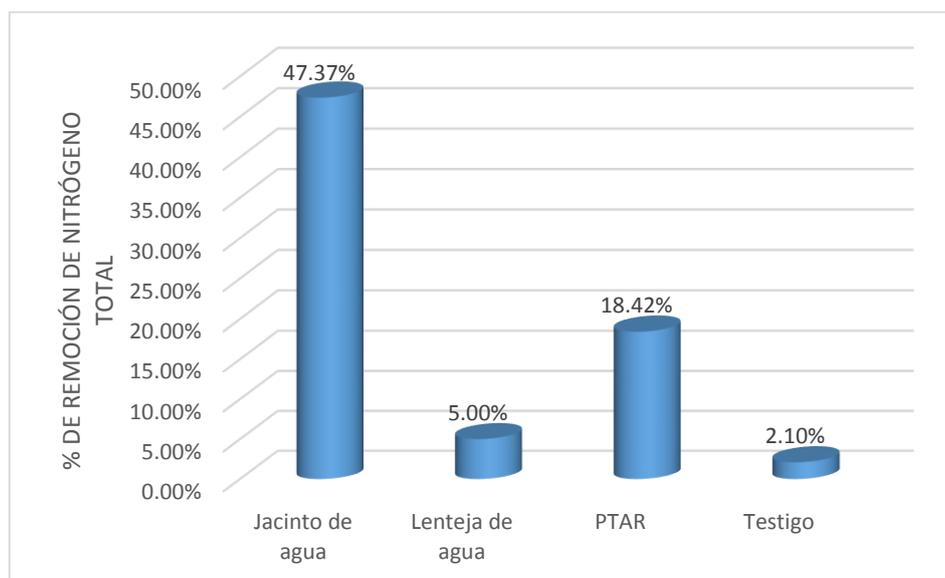


Figura 25: Remoción de nitrógeno total

En la Figura 25 se muestra que con la aplicación de *Eichhornia crassipes* se logró remover la mayor parte del nitrógeno contenido en el agua residual con una eficiencia de 47.37%, con *Lemna minor* se removieron solo el 5.00%, la PTAR y el Testigo removieron el 18.42% y 2.10% respectivamente.

5.12. Remoción de fósforo total

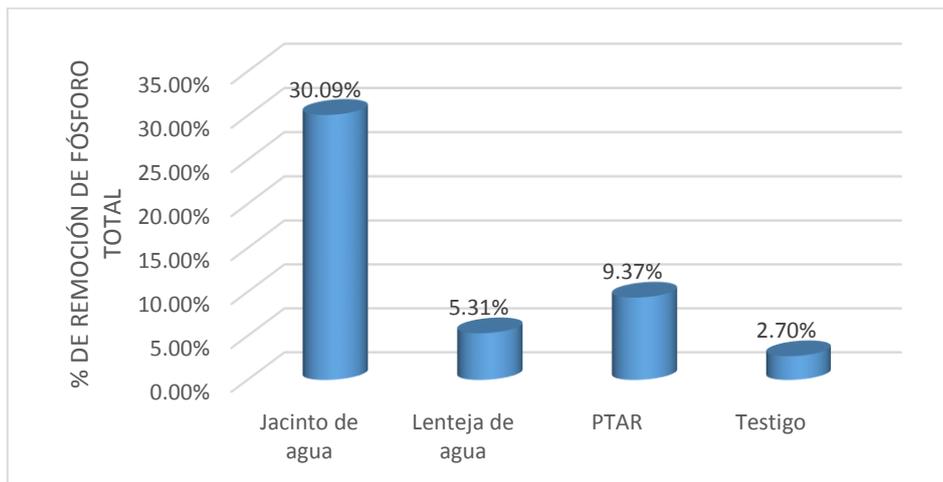


Figura 26: Remoción de fósforo total

En la Figura 26 representa la remoción de fosforo total contenido en el afluente pues el que presenta mayor eficiencia es *Eichhornia crassipes* con 30.09%, *Lemna minor* con un 5.31%, la PTAR y Testigo lograron remover el 9.37% y 2.70% respectivamente.

5.13. Remoción de Coliformes

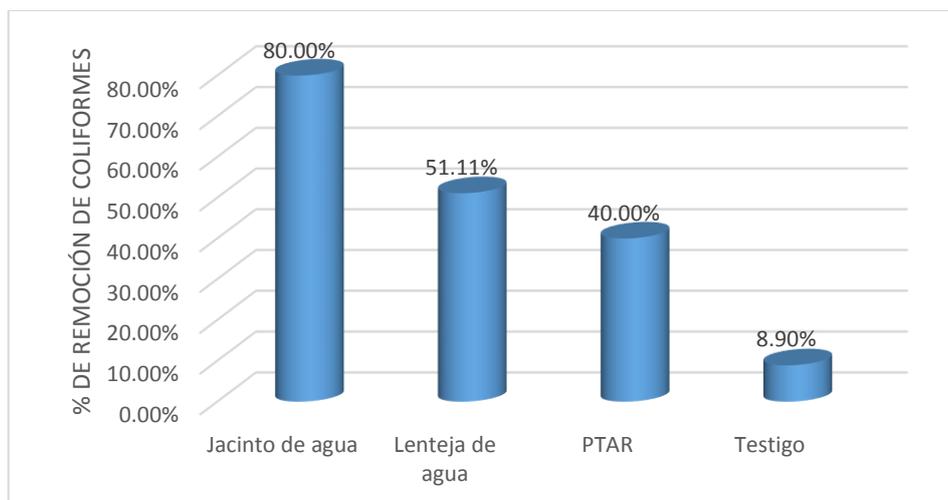


Figura 27: Remoción de Coliformes

La Figura 27 muestra que el más eficiente en remover los Coliformes es con la aplicación de *Eichhornia crassipes* con un 80.00%, mientras que *Lemna minor* con una 51.11%, la PTAR y el Testigo con 40% y 8.90% respectivamente.

VI. DISCUSIÓN

En el humedal que se asoció con Lenteja de agua (*Lemna minor*), durante el tiempo de retención hidráulica la especie no se desarrolló de una forma normal respecto a *Eichhornia crassipes* utilizada en la investigación por lo tanto su reducción en los parámetros de nitrógeno y fosforo fue de 5.00 % y 5.31 % respectivamente. Mientras que Martelo y Lara (2012) menciona que en el año 1973 en la Universidad de la Florida obtuvieron un remoción de nutrientes de 89% y 67% para nitrógeno y fósforo utilizando *Lemna minor*.

De la caracterización del agua residual que sale de la unidad de desbaste las concentraciones de sólidos totales y la demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo 710 mg/L y 245 mg/L respectivamente logrando verificar una contaminación no muy alta contrastando con Metcalf (1995) - (indica en la **Tabla 2**) a los sólidos totales en las concentraciones de (500 mg/L a 700 mg/L) una contaminación media, (1000 mg/L a 1200 mg/L) una contaminación alta, la demanda bioquímica de oxígeno la concentración de 200 mg/L con una contaminación media y 400 mg/L una contaminación alta.

Coronel (2016), utilizando *Eichhornia crassipes* para la depuración natural del agua residual doméstica en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas logró remover el 95.79% de los sólidos suspendidos totales. En cambio en la presente investigación al aplicar la macrófita *Eichhornia crassipes* en el humedal se lograron remover solamente un 88.03% de los sólidos totales presente en el agua residual en el anexo El Molino.

Uno de los parámetros evaluados en la investigación fue el fósforo total que contiene el agua residual y el efluente luego de ser sometido al tratamiento con el humedal artificial a base de la macrófita *Eichhornia crassipes* esta reducción fue de 11.3 mg/L a 7.9 mg/L con un porcentaje de remoción de 30.09%. Mientras que Coronel (2016) en el tratamiento de agua residual doméstica de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas utilizando la macrófita *Eichhornia crassipes* reportó una eficiencia de remoción de 93.70% de fosfatos.

La demanda química de oxígeno (DQO) el cual es un parámetro que indica la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para degradar las sustancias orgánicas e inorgánicas en la presente investigación al utilizar *Eichhornia crassipes* se obtuvo una

eficiencia de remoción 77.04% y utilizando *Lemna minor* se obtuvo la eficiencia de 12.26%. Estos datos que se obtuvieron guardan concordancia con León y Lucero (2009) donde al utilizar *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* para el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en el Cantón Cotacachi, la especie que presenta mayor eficiencia es *Eichhornia crassipes* con 78.30% y uno de la familia *Lemna* en este caso *Lemna gibba* presenta una eficiencia de 63.12%

Según Rodríguez *et al.* (2010) cuando se compararon el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales con especies como el buchón de agua (Jacinto de agua) y lenteja de agua la remoción de materia orgánica expresado como parámetro la DBO5 fueron de 70% y 86% respecto al buchón de agua y 58% si se utiliza la lenteja de agua. En la presente investigación en los humedales que se utilizó el Jacinto de agua la remoción de la DBO fue de 86.94%, mientras que al utilizar la lenteja de agua se obtuvo una remoción de 18.00%; se puede verificar que la disminución de la concentración de materia orgánica es significativamente buena por las condiciones climáticas que favorece su desarrollo del Jacinto de agua como una macrófita presente en la mayoría de humedales naturales del anexo del Molino.

En el sistema biológico evaluado por Vizcaíno y Fuentes (2016) donde se instaló el humedal artificial de flujo horizontal con plantas flotantes con la macrófita Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) como tratamiento 2 con un caudal de 0.020 L/min se lograron remover el 100% de los sólidos en suspensión. En cambio en la investigación se logró remover de 218 mg/L que fue su concentración inicial hasta 25 mg/L que fue la concentración del efluente que sale del humedal dando como resultado un 86% de remoción; no se logró remover todo el material sólido en suspensión debido a la presencia de nutrientes en estado de suspensión.

Dentro del humedal asociado con las macrófitas ocurre la reducción de microorganismos patógenos, en la investigación estudiamos los Coliformes logrando remover un 80.00% utilizando *Eichhornia crassipes* y 51.11% utilizando la especie *Lemna minor*, Delgadillo *et al.* (2010) explica que ocurre la predación por parte de microorganismos fijados en la raíces de la macrófitas de esta forma se remueviéndose las bacterias patógenas. Contrastado con Coronel (2016) en su investigación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

utilizando las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* lograron una eficiencia de remoción de coliformes totales de 99.98% y 95.83% respectivamente.

La remoción del material orgánico biodegradable demostrado en la reducción de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno desde 245 mg/L hasta 32 mg/L con una eficiencia de remoción de 86.94%, y los sólidos en suspensión una reducción de 218 mg/L hasta 25 mg/L con una eficiencia de remoción de 89% con la aplicación del humedal artificial a base la macrófita *Eichhornia crassipes*. En la investigación realizada por El-Gendy *et al.* (2005) se logró una remoción del 97% de la demanda bioquímica de oxígeno y un 95% de eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos totales, cuanto mayor es la remoción de sólidos en suspensión mayor sera la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

VII. CONCLUSIONES

Logramos instalar los humedales artificiales para la determinación de las eficiencias de remoción de la carga contaminante dos humedales como repeticiones a base de Jacinto de Agua, uno con Lenteja de Agua y el último un humedal testigo sin ninguna especie depuradora.

Se recolectó las macrófitas a utilizar en la presente investigación de acuerdo las especificaciones de recolección fijadas para que al momento de ser colocadas en el humedal artificial puedan desarrollarse y cumplir su función de remoción de contaminantes.

El agua residual proveniente del pretratamiento y tratamiento primario de la PTAR de El Molino, presentó una eficiencia de remoción promedio de contaminantes de un 30%, en cuanto a parámetros como: sólidos totales, DBO5; DQO, Fósforo y Nitrógeno Total a excepto de la remoción de Coliformes la cual tuvo una remoción poco significativa. Lo que significa que los tratamientos son pocos eficientes y que originan un impacto ambiental negativo significativo en la quebrada Bishohuayco.

El humedal asociado a la macrófita Jacinto de Agua después de una retención hidráulica de 35 días, presento una eficiencia de depuración en sólidos totales de 88.03 %, en DBO y DQO de 86.94% y 77.04% respectivamente y en nitrógeno y fósforo total una eficiencia de 47.37 y 30.09% respectivamente, lo que evidencia un excelente fitorremediador de aguas residuales domésticas. La misma que contribuye al cumplimiento de los LMPs para aguas residuales a ser vertidas en cuerpos de agua según (D.S. N° 003-2010-MINAM, 2010).

En cuanto a la aplicación de Lenteja de Agua en el humedal artificial a nivel piloto se obtuvo la remoción de contaminantes en cuanto a sólidos totales de un 18.30% asimismo la eficiencia de remoción de DBO5 y DQO fue de 18.00% y 12.26% respectivamente y en cuanto a nitrógeno y fósforo se logró remover en un 5.00% y 5.31%. Lo que indica que no es buena depuradora, esto debido a que no pudo tolerar altas concentraciones de materia orgánica, lo cual impidió su desarrollo y acción removedora.

La eficiencia del humedal testigo después de pasar por un proceso de autodepuración, se evidenció la remoción de sólidos total, solidos disueltos y sólidos sedimentables en un 8.00%, DBO5 y DQO en un 4.90% y 3.80% respectivamente, nitrógeno 2.10% y fósforo en un 2.70%. Es importante recalcar que debido al tiempo de retención hidráulica los sólidos

totales tienden a sedimentarse por gravedad; por otro lado las bacterias existentes en el agua residual llevan a cabo su función metabólica depuradora, sin embargo el oxígeno disuelto es escaso por lo que llegan a extinguirse progresivamente.

VIII. RECOMENDACIONES

A la municipalidad provincial de Chachapoyas, recomendar que considere en el diseño de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales en El Molino, una etapa que involucre unidades de tratamiento secundario que dé lugar a procesos específicos de descomposición de la materia orgánica como una batería de pozas de fitorremediación en base al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), que no son de alto presupuesto y sencillos de operar. Inclusive, podría ser parte del diseño la construcción de una laguna de oxidación aeróbica, que tampoco genera altos costos económicos. La finalidad sería elevar la eficiencia de remoción de la materia orgánica, dado que relativamente, se tiene una facilidad de descomponer sustancias orgánicas como los restos fecales, grasas y sólidos coloidales. Pues todo lo que existe actualmente, se resume en una unidad de tratamiento primario, lo que está generando la contaminación de la quebrada Bisho Huayco, que a la postre también contamina el río Utcubamba.

A las municipalidades distritales y provinciales de la región Amazonas, que deben cumplir con la norma emanada por el DS N° 003-2010-MINAM, publicado en el diario el Peruano, el 17 de marzo del 2010, que regula la contaminación producida por aguas residuales al ser arrojados a cuerpos de agua dulce. Que contemplen la posibilidad de la instalación de humedales con macrófitas que muy bien se desarrollan en éste piso ecológico, además que con éste proceso se tendría un tratamiento secundario, que en ocasiones es considerado por algunos autores como un tratamiento terciario. Es decir, no existe una justificación para continuar contaminando las quebradas o cuerpos de agua dulce, pues de ser así, irremediablemente se contaminarán los ríos, agotando el oxígeno disuelto y poniendo en riesgo la vida acuática.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, promover la investigación en el tratamiento de aguas residuales sobre todo considerando procesos biológicos que resultan ser ecológicos para el medio ambiente, como son los procesos de fitorremediación y biorremediación, por no requerir de grandes presupuestos económicos. Y de otro lado, son procesos que no requieren de un sofisticado conocimiento para su operación, de modo que con una capacitación al personal se puede conseguir el funcionamiento del proceso y por ende una disminución de la carga orgánica.

A la empresa privada participar de forma mancomunada con instituciones públicas como el gobierno regional o municipalidades en la elaboración de proyectos y expedientes técnicos que promuevan el cuidado del medio ambiente a través de la protección de los recursos naturales, como el agua, suelo y atmósfera; especialmente causa preocupación como en una época que hay limitaciones con el agua, se pueda impactar en forma desmedida quebradas y ríos; bastaría recordar que durante el pasado año, el país sufrió una serie de sequías en distintas parte del territorio peruano, como resultado de la adulteración de los patrones de lluvia.

A los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-A, se les recomienda continuar con la investigación relacionada a la protección del recurso natural más importante como es el agua, con la finalidad de encontrar nuevas macrófitas para el clima y piso ecológico de Amazonas, que garanticen la depuración de aguas residuales y ampliar la oferta de medidas que puedan conseguir disminuir la carga orgánica de las aguas utilizadas. De forma que en coordinación con sus autoridades puedan proponer y lograr la adquisición de equipos de análisis químicos para la determinación de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agdag, O., & Sponza, D. (2005). Anaerobic-aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential/ two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems. *Process Biochem*, 40(2), pág. 895-902.
- Álvarez, S. G., Maldonado, M., Gerth, A., & Kuschik, P. (2004). Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo. *Revista Información Tecnológica*, 15(3), 75-80.
- Ansola, G., González, J. M., Cortijo, R., & De Luis, E. (2003). Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewaters treatment. *Ecological Engineering*, 21(1), 43-52.
- Avelar, J. U. (2011). *Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales en Tlapanoya, Municipio de Tequisquiác, Estado de México*. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas: México.
- Bálcazar, C. (2007). *Saneamiento Para el Desarrollo*. Lima: LEDEL S. A. C.
- Barreto, Y., & Paredes, J. (2015). Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*. *Investigación y Amazonía*, 5(1y2): 9-14.
- Cárdenas, A. (2005). *Calidad de agua*. Unidad Distrital Francisco José de Caldas, Caldas: Facultad del Meio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cartró, J. (2003). *Tratamiento de aguas industriales. Depuración biológica de las aguas residuales*. Fundación Universitaria Iberoamericana-Universidad de Catalunya: Barcelona.
- Chernicaró, C., & Borges, J. (1997). *Evaluación and start-up of a full-scale UASB reactor treating domestic sewage, Case study*. En: Proc. of the 8th Int. Conf. on Anaerobic Digestion Sendai: 2, pág. 192-199.
- Coronel, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional*

- Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas, 2015. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas: Chachapoyas.*
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Cueva, E. Y., & Rivadeneira, F. A. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea*. Escuela Politécnica del Ejército: Santo Domingo.
- D.S. N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. El Peruano: Lima, Perú, 17 de marzo de 2010.
- Da Cámara, L., Hernández, M., & Paz, L. (2003). *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. M. Gómez: Barcelona.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia: Nelson Antequera Durán.
- Domenéch, X. (2000). *Química del suelo. El impacto de los contaminantes*. Madrid: Miraguano SA Ediciones.
- El-Gendy, A. S., Biswas, N., & Bewtra, J. K. (2005). A floating aquatic system employing water hyacinth for municipal landfill leachate treatment: effect of leachate characteristics on the plant growth. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 4(4), 227-240.
- Ferrer, P. J., & Seco, T. A. (1999). Tratamiento de aguas. Introducción a los tratamientos físicos, químicos y biológicos. *Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*, Valencia (España). pág. 479.
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional de Ingeniería: Lima.
- Hill, D., & Jenkins, S. (1989). *Measuring alkalinity accurately in aqueous systems containing high organic acid concentration*. *Trans. ASAE*: 32 (6), 2175-2178.

- IIAP. (2010). *Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas*. Lima, Perú: LUIGGI.
- Jaramillo, J., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca: Cuenca.
- Jin, G., Kelley, T., Freeman, M., & Callahan, M. (2002). Removal of N,P, DBO5, and coliform in pilot-scale constructed wetland systems. *International Journal of Phytoremediation* 4(2), 127-141.
- León, M., & Lucero, A. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi*. Universidad Técnica del Norte: Ibarra-Ecuador .
- Ley N° 29338. (2009). *Diario Oficial El Peruano*. Lima : Junio 2009.
- Llagas, W. A., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para al tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 15 (17), 85-96.
- Mahmood, Q., Zheng, P., Islam, E., Hayat, Y., Hassan, M. J., Jilani, G., & Jin, R. C. (2005). Lab scale studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Marts Solms) for biotreatment of textile wastewater. *Caspian Journal of Enviromental Sciences* 3(2):, 83-88.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia, ing. cienc.*, 8 (15), 221-243.
- Masters, G. M., & Ela, W. P. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Mejía, R. E. (2013). *Diseño planta de tratamiento de aguas negras generadas por la estación N° 1 del "Sote"*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Energía y Medio Ambiente: Quito.

- Metcalf, E. I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- MINAG. (2008). *Ministerio de Agricultura del Estado Peruano*. Obtenido de <http://www.minagri.gob.pe/>
- Muñoz, J. M. (1993). *Biodiscos. Filtros Percoladores*. In: *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Madrid, España: Editorial Agrícola Española .
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*.
- Olguín, E. J., Hernández, E., Coutiño, P., & Gonzáles, R. (1998). Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. En *ISBN 968-7213-63-9. Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable* .
- Otárola, A. P. (2011). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la localización petrolera de Caño Gandúl*. Universidad de Colombia: Bogotá.
- Paez, J. A., & Rubio, D. F. (2009). *Evaluación del comportamiento de los parametros involucrados en la remoción de cinc en humedales artificiales verticales*. Universidad de la Salle: Bogotá.
- Ramos, M. G., Rodríguez, L. M., & Martínez, P. (2007). Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 17(1), 7-15.
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Teconología y Ciencias del agua*, 1(1), 59-68.
- Rojas, R. (2002). *Sistema de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>.
- Romero, J. A. (2005). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Velarde, K., Zavaleta, M., & Aguilar, C. (2011). *Estudio de la absorción del ión cromo VI con Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)*. Universidad Nacional de Trujillo: Trujillo.

Vizcaíno, L., & Fuentes, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Rev. U. D. C. A Act & Div. Cient*, 19(1), 189-198.

ANEXOS

Anexo 1: Copia del DS N° 003-2010-MINAM, 17 marzo 2010.

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 Permissible - 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 Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

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

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

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

DECRETA:

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

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

Artículo 2°.- Definiciones

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

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

- **Límite Máximo Permissible (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.

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 AGUA S
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	6.5-9.5
Sólidos Totales Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

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

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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

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

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

SE RESUELVE:

Artículo 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 N° 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: Actividades utilizando Jacinto de Agua



Figura 01: Desarrollo del Jacinto de agua en la poza N° 1.



Figura 02: Repetición de la prueba. Jacinto de agua en la poza N° 2.



Figura 03: Formación de amplia red radicular del Jacinto de agua.



Figura 04: Dimensión de una semilla de Jacinto de agua

Anexo 3: Actividades utilizando Lenteja de Agua



Figura 01: Humedal con la Lenteja de agua (*Lemma minor*).



Figura 02: Punto de recolección de la Lenteja de agua (*Lemma minor*).

Anexo 4: Humedal sin ninguna macrófita



Figura 01: Vista del tratamiento testigo

Anexo 5: Análisis de las muestras



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 370-2017-RIVELAB/FQ

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE : SANCHEZ SALÓN, NATALY
ENSAYO SOLICITADO : Físicoquímico

DENTIFICACION DE LA MUESTRA

✓ CALIDAD DEL AGUA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
✓ N° DE MUESTRAS : 01
✓ LOCALIDAD : El Molino - Chachapoyas
✓ REFERENCIA : Frasco 1 - Investigación tesis
✓ PRESENTACIÓN/CANTIDAD : Botella de Vidrio de 1000 ml
✓ Fecha de ingreso de la muestra : 06 de Febrero del 2017
✓ Fecha del reporte : 14 de Febrero del 2017
✓ RESPONSABLE DEL ANALISIS : Dr. José Félix Rivero Méndez

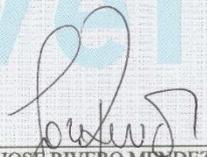
II. RESULTADOS:

ENSAYO DE MANIPULADORES

RESULTADOS:

Sólidos totales: 710 mg/L.
Sólidos totales disueltos: 492 mg/L.
Sólidos en suspensión: 218 mg/L.
DBO: 245 mg/L.
DQO: 318 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah): 38 mg/L.
Fósforo total mg/L.: 11,3 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml: 4,5 x 10⁸.

Trujillo, 14 de marzo 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°370-2017-RIVELAB página 1

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 371-2017-RIVELAB/FQ

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE : SANCHEZ SALÓN, NATALY
ENSAYO SOLICITADO : Físicoquímico

DENTIFICACION DE LA MUESTRA

✓ CALIDAD DEL AGUA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
✓ N° DE MUESTRAS : 01
✓ LOCALIDAD : El Molino - Chachapoyas
✓ REFERENCIA : Frasco 2 - Investigación tesis
✓ PRESENTACIÓN/CANTIDAD : Botella de Vidrio de 1000 ml
✓ Fecha de ingreso de la muestra : 06 de Febrero del 2017
✓ Fecha del reporte : 14 de Febrero del 2017
✓ RESPONSABLE DEL ANALISIS : Dr. José Félix Rivero Méndez

II. RESULTADOS:

ENSAYO DE MANIPULADORES

Resultados:

Sólidos totales: 285 mg/L.
Sólidos totales disueltos: 199 mg/L.
Sólidos en suspensión: 86 mg/L.
DBO: 162 mg/L.
DQO: 229 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah): 31 mg/L.
Fósforo total mg/L.: 10,2 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml: $2,7 \times 10^8$.

Trujillo, 14 de marzo 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°371-2017-RIVELAB página 1

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 376-2017-RIVELAB/FO

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE : SANCHEZ SALÓN, NATALY
ENSAYO SOLICITADO : Físicoquímico

DENTIFICACION DE LA MUESTRA

✓ CALIDAD DEL AGUA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
✓ N° DE MUESTRAS : 01
✓ LOCALIDAD : El Molino - Chachapoyas
✓ REFERENCIA : Botella plástica 1 - Investigación tesis
✓ PRESENTACIÓN/CANTIDAD : Volumen 1000 ml
✓ Fecha de ingreso de la muestra : 13 de Marzo del 2017
✓ Fecha del reporte : 22 de Marzo del 2017
✓ RESPONSABLE DEL ANALISIS : Dr. José Félix Rivero Méndez

II. RESULTADOS:

ENSAYO DE MANIPULADORES

Resultados:

Sólidos totales: 85 mg/L.
Sólidos totales disueltos: 60 mg/L.
Sólidos en suspensión: 25 mg/L.
DBO: 32 mg/L.
DQO: 73 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah): 20 mg/L.
Fósforo total mg/L.: 7,9 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml: 9×10^7 .

Trujillo, 22 de marzo 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°376-2017-RIVELAB página 1

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 377-2017-RIVELAB/FQ

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE : SANCHEZ SALÓN, NATALY
ENSAYO SOLICITADO : Fisicoquímico

DENTIFICACION DE LA MUESTRA

✓ CALIDAD DEL AGUA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
✓ N° DE MUESTRAS : 01
✓ LOCALIDAD : El Molino - Chachapoyas
✓ REFERENCIA : Botella plástica 2 - Investigación tesis
✓ PRESENTACIÓN/CANTIDAD : Volumen 1000 ml
✓ Fecha de ingreso de la muestra : 13 de Marzo del 2017
✓ Fecha del reporte : 22 de Marzo del 2017
✓ RESPONSABLE DEL ANALISIS : Dr. José Félix Rivero Méndez

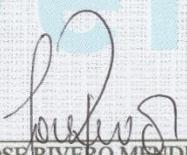
II. RESULTADOS:

ENSAYO DE MANIPULADORES

Resultados:

Sólidos totales: 580 mg/L.
Sólidos totales disueltos: 414 mg/L.
Sólidos en suspensión: 166 mg/L.
DBO: 201 mg/L.
DQO: 279 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah): 36,1 mg/L.
Fósforo total mg/L.: 10,7 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml: $2,2 \times 10^8$.

Trujillo, 22 de marzo 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°377-2017-RIVELAB página 1

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 378-2017-RIVELAB/FQ

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE : SANCHEZ SALÓN, NATALY
ENSAYO SOLICITADO : Físicoquímico

DENTIFICACION DE LA MUESTRA

✓ CALIDAD DEL AGUA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
✓ N° DE MUESTRAS : 01
✓ LOCALIDAD : El Molino - Chachapoyas
✓ REFERENCIA : Botella plástica 3 - Investigación tesis
✓ PRESENTACIÓN/CANTIDAD : Volumen 1000 ml
✓ Fecha de ingreso de la muestra : 13 de Marzo del 2017
✓ Fecha del reporte : 22 de Marzo del 2017
✓ RESPONSABLE DEL ANALISIS : Dr. José Félix Rivero Méndez

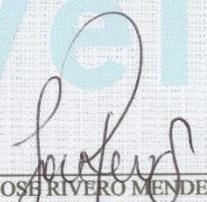
II. RESULTADOS:

ENSAYO DE MANIPULADORES

Resultados:

Sólidos totales: 653 mg/L.
Sólidos totales disueltos: 453 mg/L.
Sólidos en suspensión: 200 mg/L.
DBO: 233 mg/L.
DQO: 306 mg/L.
Nitrógeno total (Kjeldah): 37,2 mg/L.
Fósforo total mg/L.: 11 mg/L.
Coliformes NMP/100 ml: 4,1 x 10⁸.

Trujillo, 22 de marzo 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°378-2017-RIVELAB página 1

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel: #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297