

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*
en la depuración de aguas residuales domésticas Habana - 2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTORES:

Pheter Omar Montalván Gonzáles

Katherin Joely López Barbarán

ASESOR:

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Código N° 06051116

Moyobamba - Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGIA
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las **tres de la tarde del día miércoles 05 de Julio del dos mil diecisiete**, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Lic. Dr. FABIÁN CENTURIÓN TAPIA.

PRESIDENTE

Ing. GERARDO CÁCERES BARDÁLEZ .

SECRETARIO

Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ.

MIEMBRO


Blgo. M.Sc. ALFREDO IBAN DÍAZ VISITACIÓN.

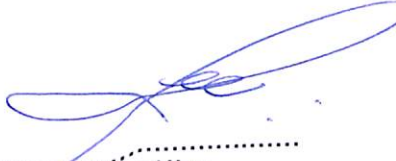
ASESOR


Para evaluar la sustentación de la tesis titulado "Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domesticas Habana - 2015"; presentado por los Bachilleres en Ingeniería Sanitaria Pheter Omar Montalván González Y Katherin Joely López Barbarán, según resolución de comisión organizadora N° 114-2016-UNSM - T- FE-CO de fecha 25 de Mayo del 2016.


Los señores miembros del jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIIDAD** con el calificativo de: **BUENO** y nota **TRECE (13)**

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las **17:00** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.


.....
Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia
Presidente


.....
Ing. Gerardo Cáceres Bardález
Secretario


.....
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez
Miembro


.....
Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
Asesor



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto
Biblioteca Central y Unidad de Bibliotecas Especializadas

Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el repositorio de tesis digital

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <i>Montalván González Pheter Omar</i>	
Código de alumno : <i>115229</i>	Teléfono: <i>980247225</i>
Correo electrónico: <i>pheteromg@gmail.com</i>	DNI: <i>47958482</i>

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

2. Datos Académicos

Facultad de: <i>Ecología</i>
Escuela Académico Profesional de: <i>Ingeniería Sanitaria</i>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(<input checked="" type="checkbox"/>)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : <i>"Eficiencia del humedal artificial con Cyperus papyrus y Typha angustifolia en la depuración de aguas residuales domésticas Habana - 2015"</i>
Año de publicación:

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(<input checked="" type="checkbox"/>)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

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

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

6. Originalidad del archivo digital.

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



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto Biblioteca Central y Unidad de Bibliotecas Especializadas

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

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

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

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

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

Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca central o especializada

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

30 / 10 / 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO
UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Prof. Alicia Mercedes Grández Chávez
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Firma de Biblioteca

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

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



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto
Biblioteca Central y Unidad de Bibliotecas Especializadas

Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el repositorio de tesis digital

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: López Barbarán Katherin Joely	
Código de alumno : 115227	Teléfono: 958580422
Correo electrónico: Kjoely1693@gmail.com	DNI: 72460209

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

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecología
Escuela Académico Profesional de: Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : "Eficiencia del humedal artificial con Cyperus papyrus y Typha angustifolia en la depuración de aguas residuales domésticas Habana -2015 "
Año de publicación:

5. Tipo de Acceso al documento

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

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

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

6. Originalidad del archivo digital.

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



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto
Biblioteca Central y Unidad de Bibliotecas Especializadas

Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el repositorio de tesis digital

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: López Barbarán Katherin Joely	
Código de alumno : 115227	Teléfono: 958580422
Correo electrónico: Kjoely1693@gmail.com	DNI: 72460209

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

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecología
Escuela Académico Profesional de: Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : "Eficiencia del humedal artificial con <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i> en la depuración de aguas residuales domésticas Habana -2015 "
Año de publicación:

5. Tipo de Acceso al documento

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

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

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

6. Originalidad del archivo digital.

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



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto Biblioteca Central y Unidad de Bibliotecas Especializadas

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

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

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

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

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

Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca central o especializada

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

30 / 10 / 2017



Prof. Alicia Mercedes Grandez Chávez
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Firma de Biblioteca

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

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

DEDICATORIA

A mis padres Miriam y Andarzon, en agradecimiento por su amor y apoyo en cada momento. A mis hermanos Tito Joseph y Anderson por estar siempre conmigo.

Pheter.

A mi querida madre Enith, que con su ejemplo y amor incondicional me ha enseñado a ser mejor cada día; y a mis hermanos Erwin y Junior, por estar siempre para mí y apoyarme en todos mis proyectos.

Joely.

AGRADECIMIENTO

- ❖ **A Dios.**
Por habernos regalado la vida, por estar presente en cada etapa de ella y siempre demostrarnos su amor incondicional.

- ❖ **A la Universidad Nacional de San Martín Facultad de Ecología escuela profesional de Ingeniería Sanitaria.**
Por permitirnos ser parte de esta prestigiosa universidad y por la enseñanza de cada uno de sus docentes.

- ❖ **Al Blgo. Msc. Alfredo Ibán Díaz Visitación**
Por su apoyo como asesor en el desarrollo de esta tesis.

- ❖ **A la Ladrillera Montalván Hermanos SAC**
Por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

La tesis “Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de las aguas residuales domésticas. Habana - 2015” tuvo como objetivo proponer, mostrar y validar una alternativa basada en la construcción de humedales artificiales para resolver el problema de salud pública y contaminación ambiental que genera la descarga de aguas residuales domésticas. El campo de estudio y evaluación fue la Ladrillera Montalván Hermanos ubicada en el distrito de Habana, donde las aguas residuales a tratar provienen del tanque séptico, las cuales después de este tratamiento de sólidos son descargadas a cuerpos de agua. El Humedal Artificial se diseñó y construyó para un caudal de 8 m³/d, usando una superficie total de 1,89 m². Las plantas utilizadas fueron: *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), para una mayor eficiencia y depuración de aguas residuales domésticas. La caracterización del agua residual se hizo por tres meses y cada 15 días a la entrada y salida del humedal artificial, del cual el resultado del efluente al tercer mes fue: coliformes termotolerantes de 972 NMP/100 mL, sólidos totales en suspensión de 18 mg/L, DQO de 132 mg/L, DBO₅ 75 mg/L; alcanzando una eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90,47%, DQO de 64,98% y DBO₅ de 66,96 %. Finalmente se afirma que mediante el humedal artificial y con las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, se puede lograr un agua residual que no contamine los cuerpos de agua, ya que los resultados obtenidos alcanzó una eficiencia de 64 a 90%, los cuales cumplen con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de efluentes domésticos según D.S. N°003-2010-MINAN.

Palabras claves: Humedal artificial, depuración de agua, *Cyperus papyrus*, *Typha angustifolia*, aguas residuales domésticas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA



CENTRO DE IDIOMAS



ABSTRACT

The thesis "Efficiency of the artificial wetland with *Cyperus papyrus* and *Typha angustifolia* in the treatment of domestic wastewater. Habana - 2015" had the objective of proposing, showing and validating an alteration based on the construction of artificial wetlands to solve the problem of public health and environmental pollution generated by the discharge of domestic wastewater. The field of study and evaluation was Montalvan Hermanos ladrillera located in district of Habana, where the waste water to treat comes from the septic tank, which after this treatment of solids are discharged to bodies of water. The Artificial Wetland was designed and built for a flow rate of $8 \text{ m}^3 / \text{d}$, using a total area of 1.89 m^2 . The plants used were: *Cyperus papyrus* (papyrus) and *Typha angustifolia* (totora), for greater efficiency and purification of domestic wastewater. The characterization of the residual water was done for three months and every 15 days at the entrance and exit of the artificial wetland, of which the result of the effluent at the third month was: thermotolerant coliforms of 972 NMP / 100 mL, total suspended solids of 18 mg / L, COD of 132 mg / L, BOD₅ 75 mg / L; Reaching an efficiency of removal of thermotolerant coliforms of 82.54%, total suspended solids of 90.47%, DQO of 64.98% and DBO₅ of 66.96%. Finally it is stated that through the artificial wetland and with the plants of *Cyperus papyrus* and *Typha angustifolia*, you can achieve a residual water that does not contaminate the bodies of water, as the results achieved an efficiency of 64 to 90% which comply with the maximum permissible limits for wastewater treatment of domestic effluents according to Decree No.003-2010- MINAN.

Key words: Artificial wetland, water purification, *Cyperus papyrus*, *Typha angustifolia*, domestic wastewater.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRAC	vi
ÍNDICE	vii
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.Planteamiento del problema	1
1.2.Objetivos	2
1.3.Fundamentación teórica	2
1.3.1. Antecedentes de la investigación	2
1.3.2. Bases teóricas	5
1.3.3. Definición de términos	32
1.4.Variables	34
1.5.Hipótesis	34
CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO	35
2.1.Tipo de investigación	35
2.2.Diseño de investigación	35
2.3.Población y muestra	35
2.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
2.5.Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
CAPITULO III: RESULTADOS	40
3.1.Resultados	40
3.1.1. Diseño del humedal artificial Subsuperficial de flujo vertical	40
3.1.2. Determinación de parámetros del agua residual doméstica	43
3.1.3. Comparación del efluente del humedal artificial con los LMP	50

3.1.4. Eficiencia en remoción de los parámetros del humedal artificial	55
3.2. Discusiones	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	67
Anexo 1: Fórmulas Estadísticas	67
Anexo 2: Mapa de Ubicación	68
Anexo 3: Diseño del humedal artificial subsuperficial del flujo vertical	69
Anexo 4: Ficha Técnica	70
Anexo 5: Metrados	71
Anexo 6: Presupuesto para la construcción del humedal	73
Anexo 4: Caracterización de los parámetros	75
Anexo 5: Panel Fotográfico	87
Anexo 06: Decreto Supremo N° 003 - 2010 – MINAN, aprueba los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Tipos de Humedales Artificiales	11
Figura N° 02. Humedal artificial de flujo superficial	13
Figura N° 03. Humedal artificial de flujo subsuperficial Horizontal	17
Figura N° 04. Humedal artificial de flujo subsuperficial Vertical	18
Figura N° 05. Planta de <i>Cyperus papyrus</i>	29
Figura N° 06. Planta de <i>Typha angustifolia</i>	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01. Crecimientos de las plantas emergentes según la fecha de muestreo	38
Cuadro N° 02. Tiempo de llenado del balde de 4Lt	40
Cuadro N° 03. Materiales empleados en la construcción de humedales artificiales subsuperficiales	41
Cuadro N° 04. Valores de los parámetros a los 45 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	44
Cuadro N° 05. Valores de los parámetros a los 60 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	45
Cuadro N° 06. Valores de los parámetros a los 75 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	46
Cuadro N° 07. Valores de los parámetros a los 90 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	47
Cuadro N° 08. Valores de los parámetros a los 105 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	48
Cuadro N° 09. Valores de los parámetros a los 120 días de sembrado el <i>Cyperrus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	49
Cuadro N° 10. Valores de los parámetros del humedal artificial con los LMP	50
Cuadro N° 11. Eficiencia y evolución del humedal artificial de los 3 meses evaluados	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01. Comparación de los Coliformes Termotolerantes con los LMP	50
Gráfico N° 02. Comparación de los Sólidos Totales en Suspensión con los LMP	51
Gráfico N° 03. Comparación de los DQO con los LMP	52
Gráfico N° 04. Comparación de los DBO ₅ con los LMP	53
Gráfico N° 05. Comparación de la Temperatura con los LMP	54
Gráfico N° 06. Comparación del pH con los LMP	55

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 01: Trazos para el humedal artificial	87
Foto N° 02: Inicio de la excavación de zanja para el humedal artificial.	87
Foto N° 03: Finalización de la excavación de zanja para el humedal artificial	88
Foto N° 04: Construcción de las paredes del humedal artificial	88
Foto N° 05: Colocación del sistema de drenaje o recolección y ventilación	89
Foto N° 06: Colocación de grava en el humedal artificial	89
Foto N° 07: Colocación de tierra negra en el humedal artificial	90
Foto N° 08: Recolección de <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i>	90
Foto N° 09: Siembra del <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i> en el humedal artificial	91
Foto N° 10: Colocación de arena en el humedal artificial	91
Foto N° 11: Instalación de tuberías de conducción de agua residual al humedal artificial	92
Foto N°12: <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i> al tercer mes de sembradas	92
Foto N° 13: <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i> al cuarto mes de sembradas	93
Foto N° 14: Construcción de cajas de registro	93

CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Planteamiento del problema.

La falta de tratamiento de aguas residuales, también denominada como “aguas negras” es uno de los principales problemas que afectan a la mayoría de los países subdesarrollados. En los países de América Latina, El Caribe, África y Asia en algunos casos no se alcanza un 10% de depuración del agua residual, caso contrario sucede en los países de América del Norte, Europa y Australia, que es donde se trata la mayor parte de las aguas residuales.

Con la descarga sin tratamiento de agua residual, no solo se ve afectada la salud de las personas, sino también se afecta al clima y a los ecosistemas en general, por las emisiones de metano que contribuyen al calentamiento global. Particularmente en la población expuesta a las descargas de agua residual puede ocasionar múltiples perjuicios. Las aguas negras de origen doméstico contienen grandes cantidades de coliformes fecales que pueden llegar a infectar a los seres humanos que se encuentran en sus cercanías, al ingerir o tocar el agua contaminada o simplemente a través de vectores que llegan a estar en contacto con el agua.

Se estima que en el Perú durante el año 2013, el 65 % de aguas residuales industriales y domésticas se vertían en los cursos de agua sin tratamiento (INEI, 2013).

Esta problemática se observa en la Ladrillera Montalván Hermanos, donde las aguas residuales a tratar provienen del tanque séptico, las cuales después de este tratamiento de sólidos son descargadas a cuerpos de agua, y por consiguiente, existe una contaminación ambiental, tanto en el suelo, aire y agua, lo que genera malos olores y pone en riesgo la salud de las personas que viven y/o trabajan en dicho lugar.

Estas consideraciones han permitido plantear la siguiente interrogante:

¿Cuál será la eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de las aguas residuales doméstica de la Ladrillera Montalván Hermanos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de las aguas residuales domésticas.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Diseñar un humedal artificial con *Cyperus papyrus* (Papiro) y *Typha angustifolia* (Totora).
- ✓ Determinar los parámetros (DBO₅, DQO, Coliformes Termotolerantes, Sólidos Totales en Suspensión, Temperatura y pH) del afluente y efluente del humedal artificial.
- ✓ Comparar los parámetros del efluente del humedal artificial con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1 Antecedentes de la investigación

Internacional

- García (2013) en su tesis “Estudio de la reducción de carga nutriente en aguas de baja calidad por medio de plantas acuáticas sin suelo” (Valencia) concluye que las tres especies vegetales han manifestado su capacidad para reducir la concentración de nitrógeno y fósforo en el agua del sistema donde han sido introducidas; el *Oryza sativa* ha presentado una reducción media del 28% y un 47% (nitrógeno y fósforo) en la línea 1, un 59% y un 21% en la línea 2 y por último un 52% y un 20% en la línea 3; en el caso del *Scirpus holoschoenus* las reducciones medias han sido del 54% y un 35% (nitrógeno y fósforo) en la línea 1, del 56% y un 46% en la línea 2, y en la línea 3 del 62% y un 19%; por último la *Thypha latifolia* ha tenido unas reducciones medias del 52% y un 46% (nitrógeno y fósforo) en la línea 1, del 53% y un 36% en la línea 2, y en la línea 3 del 60% y un 22%.
- Cueva y Rivadeneira (2013) en su tesis titulada “Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea” (Santo Domingo), concluye que el agua residual sin tratamiento de la hacienda Zoila Luz posee un nivel de contaminación en DBO₅ de 182 mg/L, la

misma que luego de ser tratada tiene en promedio de DBO₅ de 37 mg/L cumpliendo con el límite permitido para descargas a un cuerpo de agua dulce que es de 50 mg/L, y con respecto al DQO tiene una carga de 608 mg/L, la misma que luego de ser tratada tiene en promedio de DQO de 107 mg/L, valor que cumple con el límite permitido para descargas a un cuerpo de agua dulce que es 250 mg/L.

- Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica” (Venezuela) concluye que los análisis del agua residual a su paso por el sistema, permitieron determinar el tiempo de retención hidráulica en el humedal artificial, que para este trabajo fue de cinco días, ya que al final de este período se presentó la menor concentración (50 mg/L), con una remoción de la carga orgánica mayor a 50 % con respecto a la concentración inicial en el agua.

Nacional

- Torres, Magno, Pineda y Cruz (2015) en su tesis “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, en Carapongo-Lurigancha; concluye que la efectividad del sistema de humedales fue de un 80% de remoción, mientras que para la determinación de eficiencia de las especies, *Cyperus papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO y turbidez un 77% mayor a *Phragmites australis*, mientras ésta un 30% mayor en la remoción coliformes totales y coliformes termotolerantes.
- Baca (2012) en su tesis “Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona” concluye que la implementación de los humedales artificiales para el tratamiento de los efluentes domésticos generará un impacto ambiental positivo, creando un área verde, cuyo mantenimiento, sería fuente de ingresos económicos para varias familias, al utilizar las fibras vegetales obtenidas de los papiros para fabricar diversas artesanías (canastas, petates, etc.).

- Trujillo (2012) en su tesis “Comparando y evaluando tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la PTAR – CITRAR de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima-Perú” concluye que la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO5 fue del 96.7% y la capacidad de remoción de nutrientes fluctuó de un 50% a un 100%, con un periodo de retención de 5 días utilizando *Lemna Minor*. El tratamiento con *Eichhornia crassipes* mostró una remoción de nutrientes que osciló entre los 52% al 86% con un periodo de retención de 5 días; mientras que el parámetro microbiológico DBO5 presentó una remoción de 26,7% en un periodo de retención de 2,5 días.

Local

- Flores (2014) en su tesis “Aplicación del humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas domésticas, Moyobamba – San Martín” concluye que los análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual, durante los cuatro que se realizó la investigación, están por debajo de los valores establecidos en los LMP según la norma peruana, por tanto, estos sistemas pueden ser aplicados como unidades avanzadas de tratamiento de pequeñas ciudades, siempre teniendo en consideración el dimensionamiento hidráulico y especificaciones técnicas.
- Rojas y Carranza (2013) en su tesis “Evaluación de la variación de los parámetros para agua residual doméstica, en la interacción de macrofitas en una laguna de oxidación en el distrito de Soritor - Moyobamba” concluye que el agua residual domestica antes de ser tratada con las macrofitas *Typha angustifolia* y *Scirús californicus*, los parámetros analizados muestran que los Coliformes Termotolerantes (7300NMP/100mL), pH (6,89 und) y Temperatura (23 °C) se encuentra dentro de los LMP y los parámetros DBO (8 850 mg/l), DQO (10 730 mg/L), Sólidos totales en suspensión (1 350 mg/L), Aceites y grasas (285 mg/L), superan significativamente a estos LMP.
- Medina y López (2013) en su tesis “Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el Barranco del Sector de Uchuglla, de la Ciudad de Moyobamba 2013” concluye que los efluentes que

salen del Humedal Artificial tienen una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual doméstica tratada varía entre 4,5 y 15 UTN, la DBO varía entre 161 y 97 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 1995 y 3541 UFC/100 mL y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L.

- Rodríguez y García (2012) en su tesis “Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas”(Moyobamba) concluye que el *Eichhornia crassipes*, fue la especie más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a las altas remociones alcanzadas en la mayoría de los parámetros como: 85,5% para Coliformes Totales, 77,7% para Nitratos, 66,1% para DBO₅, 20, 60% para Sólidos suspendidos totales; además esta especie es de fácil adaptación, habilidad que le permite habitar en distintos medios acuosos, sobre enriquecidos de nutrientes.

1.3.2 Bases teóricas

1.3.2.1 Agua

El agua se encuentra en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. El total de agua en la Tierra se estima en unos 1.400 millones de km³, de los cuáles un 3% del total corresponde a agua dulce. La provisión global de agua en la Tierra (invariable desde hace miles de millones de años) está sometida al denominado "Ciclo Hidrológico" que consiste en una serie de cambios de fase, de características físicas, químicas, y microbiológicas, e incluso, de emplazamiento físico (mares, nubes, glaciales, ríos, aguas subterráneas) cuyo último efecto es la "renovación" periódica de la dotación de agua en las grandes acumulaciones de ésta en el planeta: océanos, ríos y lagos, atmósfera y litósfera. El motor del "Ciclo Hidrológico" es la radiación solar recibida por la Tierra que provoca la evaporación de agua desde la superficie libre de océanos y mares hasta la atmósfera. (Marín, 2010)

Propiedades generales del agua

El agua líquida está formada por asociaciones de moléculas de 2, 3 y hasta 12 unidades de "H₂O", estando dotada de una estructura tridimensional

fluctuante, mientras el hielo es una mezcla de cuatro isómeros distintos, compuestos a su vez de diferente número de moléculas y/o con diferente estructura. (Marín, 2010)

De densidad casi igual a la unidad (0,9999 g/cc a 20 °C), su tensión superficial varía con la temperatura, disminuyendo desde 75,5 din/cm a 0°C hasta un valor nulo en el punto crítico (aquél en que coexisten los tres estados físicos de la sustancia) así como con los gases disueltos y con la presencia de otras sustancias en el agua. (Marín, 2010)

Es poco compresible, teniendo una alta capacidad calorífica con un mínimo entre 34 y 35°C. Esto actúa como bomba de calor en la regulación del clima de la Tierra, actuando los océanos como termostatos realizando un tránsito reversible de energía desde las aguas cálidas hacia las zonas frías. (Marín, 2010)

La conductividad eléctrica del agua pura es muy baja ($\approx 0,05 \times 10^{-6} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) incrementándose con la disolución de electrolitos, más cuánto más dissociado esté aquél. Conductividad y contenido salino de un agua natural fluyente (ríos, arroyos) suele ir incrementándose a través de su recorrido sobre el terreno por disolución de especies. Además, el agua posee una alta reactividad que se pone de manifiesto en su poder de disolución de materiales. Un proceso de disolución implica el cambio en propiedades físicas y químicas de la disolución ya constituida, con respecto tanto al soluto como al propio disolvente. (Marín, 2010)

Propiedades fisicoquímicas del agua

- **Temperatura:** se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología. Aunque la temperatura de un agua superficial está ligada a la irradiación recibida. (Marín, 2010)
- **Color:** El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la

descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. En aguas naturales de lagos y embalses suele existir una relación directa entre color y pH, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. El color de las aguas profundas de lagos y embalses durante la época de estratificación térmica es marcadamente superior al del agua superficial. (Marín, 2010)

- **Olor y Sabor:** Fisiológicamente, los sentidos del gusto y el olfato están íntimamente relacionados ya que las papilas linguales y las olfativas detectan estímulos simultáneos y complementarios. Solamente existen cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. Todos los demás sabores se obtienen por interacción de estos reseñados. (Marín, 2010)

1.3.2.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (Espigares y Pérez, 1958)

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas. (Espigares y Pérez, 1958)
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración. (Espigares y Pérez, 1958)

- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales. (Espigares y Pérez, 1958)
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (Espigares y Pérez, 1958)

1.3.2.3 Contaminantes de las aguas residuales

Los contaminantes de interés en tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

- Sólidos Suspendidos: Pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático.
- Materia orgánica biodegradable: Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general se miden en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y el desarrollo de condiciones sépticas.
- Microorganismos patógenos: Las que existen en las aguas pueden transmitir enfermedades.
- Nutrientes: Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.
- Compuestos tóxicos: Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada

toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.

- **Materia orgánica refractaria:** Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
- **Metales pesados:** Son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta resistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
- **Sólidos inorgánicos disueltos:** Componentes inorgánicos, como calcio, sodio, sulfato, deben ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual por ser potenciales degradadores del suelo. Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2010)

1.3.2.4 Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas pasivos de depuración construidos con agua, poco profundos, normalmente de menos de un metro de profundidad, con plantas propias de zonas húmedas, y en los que los procesos de descontaminación se realizan simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos. García, Bayona, Morató (2004)

En depuración de aguas residuales, generalmente se consideran humedales aquellos sistemas que usan macrófitas (plantas que se ven a simple vista), en contraposición a los micrófitos (generalmente microalgas), y por tanto los lagunajes no suelen ser considerados como humedales. (Lahora, 1999)

Los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, especialmente si éstas son de origen urbano, y pueden llegar a tener un gran futuro en países en vía de desarrollo que tengan climas tropicales o subtropicales, donde las condiciones económicas de estos proyectos (necesidades de terreno, relativamente menores costos instalación, operación y mantenimiento), pueden ser determinantes a la

hora de emprender o no la depuración de las aguas residuales, si a este punto adicionamos las condiciones climáticas que favorecerían los rendimientos, tendríamos una interesante posibilidad de solución. (Novotny y Olem, 1994)

Los humedales artificiales se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios, en el tratamiento de residuos de tanques sépticos y para otros propósitos como desarrollar hábitats para crecimientos de valor ambiental. (Romero, 2004)

El bajo consumo energético en comparación a depuradoras convencionales, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración en el paisaje rural son características que convierten a este tipo de sistema en una alternativa tecnológica y ecológica a los sistemas convencionales de depuración. (García et al., 2004)

1.3.2.5 Funciones generales de los humedales artificiales

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales; estas son:

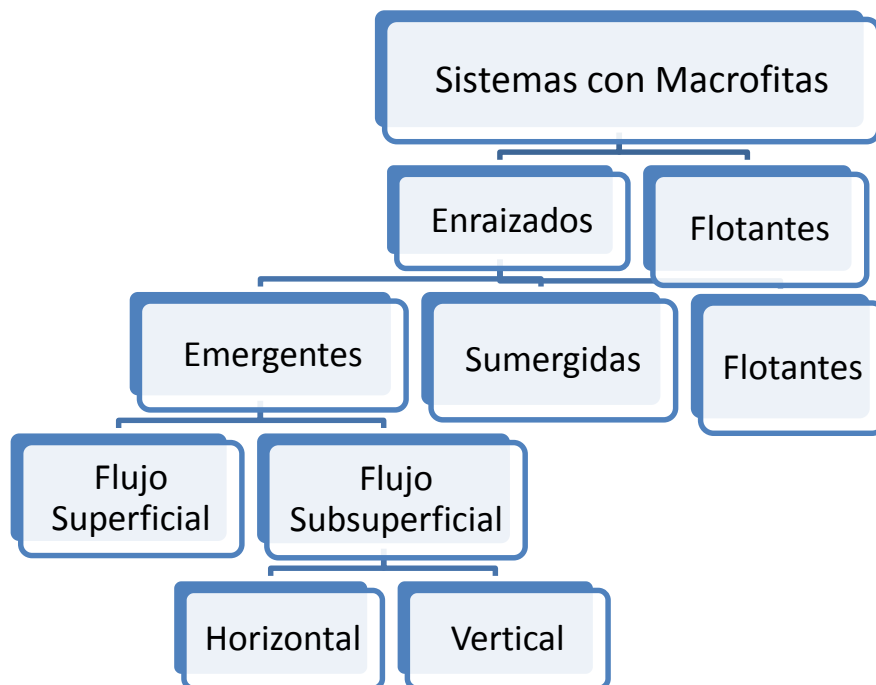
- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento. (García et al., 2004)

1.3.2.6 Tipos de humedales artificiales

Los tipos más recientes de humedales artificiales se hacen en función de la presencia o no de una superficie libre de agua en contacto con la

atmósfera, o bien varían en función de la circulación del agua o flujo de la misma.

Figura N°01. Tipos de Humedales artificiales.



Fuente: Delgadillo et al. (2010).

1.3.2.6.1. Humedales de Flujo Superficial o Libre. La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo superficial (FWS), en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. En dicho sistema el nivel del agua está por encima de la superficie del terreno; la vegetación está sembrada y emerge sobre la superficie del agua; esto lo hace atractivo para los mosquitos y otros vectores similares. (Rubio y Paez, 2009)

El HAFS es un pantano o ciénaga en el que la vegetación está inundada hasta la profundidad de 10 a 45 cm con plantas acuáticas emergentes, plantas flotantes, plantas acuáticas sumergidas o su combinación. Para estos sistemas diseñados principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. (Romero, 2004)

En estos humedales el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal. Puede estar con o sin cubierta, en función de la reglamentación y/o requisitos de desempeño. Pérez, Alfaro, Sasa y Agueño (2013)

Los HAFS consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación seleccionada. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del AR aplicada y su recolección. Además de las AR domésticas, los sistemas de FS son usados para tratamiento del drenaje de minas, escorrentía pluvial urbana, desbordes de drenajes combinados, escorrentía agrícola, desechos ganaderos y avícolas y lixiviados de rellenos sanitarios, y para efectos de mitigación. United States Environmental Protection Agency (US EPA, 1988)

Los HFS son probablemente los más comunes en las aplicaciones para el tratamiento de AR tanto en Estados Unidos como en Canadá. Los requerimientos de terreno y los costos tienden a favorecer la aplicación de la tecnología de HFS en áreas rurales. En su mayor parte, sin embargo, la tecnología de FS ha sido utilizada por pequeñas y medianas comunidades que van desde 5.000 a 50.000 en población. US EPA (1988)

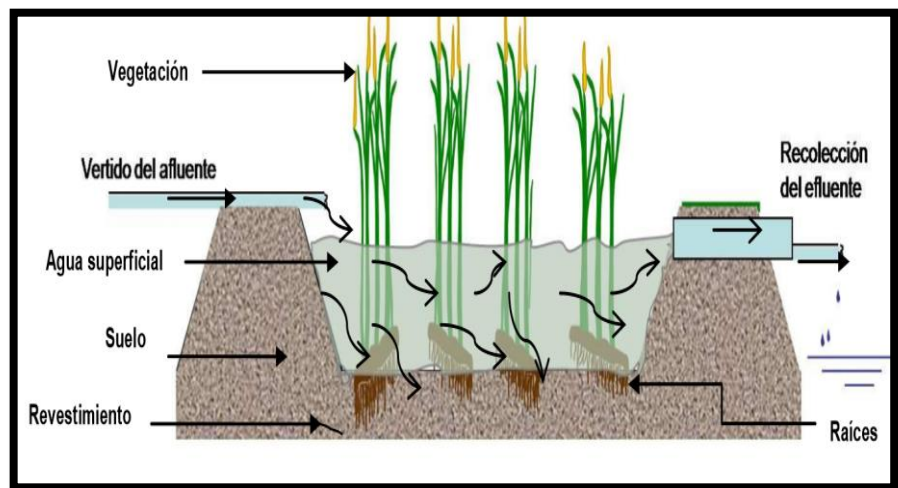
Estos sistemas exhiben ecología compleja acuática, incluido el hábitat para las aves acuáticas y de humedales. (Pérez y Rojo, 2000)

Estos últimos organismos y otros vectores son responsables algunas veces por la disminución en la calidad de los efluentes

entre otras variables, y en los temas posteriores se mostrarán medidas correctivas posibles para estos organismos. (Pérez y Rojo, 2000)

Estos humedales tienen en gran parte zonas aeróbicas que favorecen los mecanismos de remoción de contaminantes, aunque la variación de la temperatura ambiental puede influir sustancialmente en la eficiencia de los procesos bioquímicos. (Pérez y Rojo, 2000)

Figura N° 02. Humedal artificial de flujo superficial.



Fuente: García y Corzo (2008).

En estos sistemas el agua tiene un movimiento horizontal y vertical a través de la zona radicular, donde las impurezas como la materia orgánica sedimentable son removidas por filtración y descomposición mediante procesos aerobios y anaerobios, dependiendo de la cantidad de oxígeno disponible en esta zona. (Rubio y Paez, 2009)

Debido a la confinación hidráulica impuesta por el material granular, este tipo de humedal está mejor preparado para tratar agua residual con sólidos, en concentraciones bajas y con flujo uniforme. Remueve en forma confiable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Con tiempos de retención

suficientemente largos, el humedal puede producir bajas concentraciones de nitrógeno, fósforo y metales en sistemas diseñados para tratamiento secundario. (Rubio y Paez, 2009)

1.3.2.6.2. Humedales de Flujo Subsuperficial

Estos humedales consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular poroso, donde el agua fluye por debajo de la superficie del medio soporte sembrado de plantas emergentes. La profundidad del medio en estos humedales FSS tiene un rango de 0.3 a 0.9 metros, siendo el valor más común el de 0.6 metros. (Romero, 2004)

Este sistema también es poco profundo y contiene grava suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones. Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios de poros en la grava. La mayoría de los datos actuales indican que estos sistemas funcionan tan bien sin plantas como con plantas, como consecuencia, la ecología de los humedales no es un factor crítico en los sistemas de FSS. Un HFSS, puede considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelícula sumergida”. (Lahora, 1999)

Un humedal de grava de FSS puede ser una mejor opción para recibir AR parcialmente tratada debido a que el agua no está expuesta y no es accesible a personas y animales, en el caso de viviendas individuales, parques, áreas de juego, o instalaciones públicas similares. US EPA (2000)

Estos sistemas se pueden combinar con cualquier otro método de depuración, consiguiendo la eliminación complementaria de nutrientes. Están especialmente indicados para pequeñas comunidades rurales. El nivel mínimo aceptable de tratamiento preliminar previo a un sistema de humedales FS es el equivalente al tratamiento primario. Esto puede lograrse con

tanques sépticos o tanques Imhoff para los sistemas más pequeños, o lagunas profundas con un tiempo corto de retención para los sistemas de mayor tamaño. (Lahora, 1999)

Los sistemas FSS pueden tratar (1) los efluentes de fosas sépticas y de sedimentación primaria, (2) los efluentes de laguna, y (3) efluentes secundarios y de algas de laguna. Los sistemas FSS más comunes en los EE.UU. tratan de fosas sépticas y laguna de efluentes de eliminación de DBO y SST. En Europa, los sistemas de FSS son los más utilizados para tratar los efluentes de fosas sépticas, aunque también se han utilizado extensamente en el Reino Unido para el pulido de lodos activados y de los efluentes RBC (reactores biológicos rotativos de contacto), y para el tratamiento de los caudales de derivación de alcantarillado combinado (Cooper, Green y Shutes, 1996).

Existen aproximadamente 100 sistemas de tratamiento de aguas domésticas en los Estados Unidos, pero la mayoría trata menos de $3,8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$. La mayoría de los sistemas municipales están precedidos por lagunas de tratamiento aireadas o facultativas. Hay cerca de 1000 sistemas de tratamiento a pequeña escala en el punto de origen para viviendas individuales, colegios, complejos de apartamentos, establecimientos comerciales, parques y otras instalaciones recreacionales. El caudal de estos sistemas pequeños va de cientos de galones por día a 151,400 litros por día (40,000 galones por día); el tipo predominante de pretratamiento proporcionado es el de tanques sépticos. US EPA (2000)

En estos tipos de humedales la vegetación no juega un papel tan importante como el suelo del sistema y la posibilidad de tener las reacciones bioquímicas con mejores resultados para remoción de contaminantes depende de la presencia o no de oxígeno en el medio, lo que se mostrará más adelante (Cooper et al., 1996).

Los humedales de Flujo Subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales:

- **Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal:** es un sistema diseñado para el tratamiento de agua residual; está construido en forma de lecho o canal excavado con fondo impermeabilizado y relleno con un material granular, generalmente roca triturada, grava, arena u otro tipo de material de suelo; para el crecimiento de la vegetación emergente, en estos sistemas el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular, es decir, el agua no está expuesta a la atmósfera. (Rubio y Paez, 2009)

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie). (García y Corzo, 2008)

Trabajan con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales. La recogida del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación. El nivel de agua es regulado con una tubería flexible manteniendo en todo momento el lecho saturado de agua, aunque hay algunas experiencias recientes satisfactorias con sistemas intermitentes. (García y Corzo, 2008)

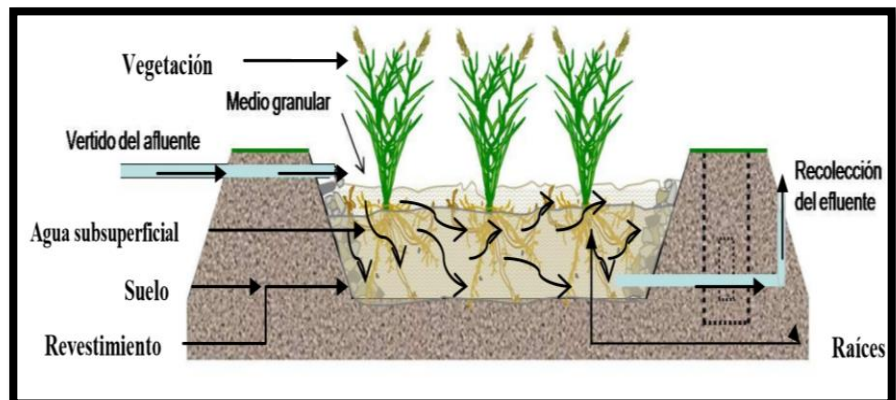
La acción de tener siempre inundado el humedal influye en hechos como la producción de efluentes con ausencia de oxígeno, potencial redox muy negativo y posibilidad de malos olores. Además, dichos efluentes pueden volverse blanquecinos debido a la precipitación de carbonatos y azufre, así como en relación con la sulfatorreducción.

Usualmente operan con un máximo de 2-6 g DBO/m²*día.
(García y Corzo, 2008)

En este tipo de humedal se pueden destacar las siguientes ventajas:

- No existen problemas de vectores; mientras el nivel subsuperficial del agua se mantenga.
- Poseen un alto potencial de asimilación por unidad de área en comparación con los sistemas de flujo superficial, debido a que el medio provee una mayor superficie de contacto, por lo tanto, requiere una menor área para tratar el mismo caudal.
- No hay riesgo que el público y animales entren en contacto con el agua residual, parcialmente tratada.
(Rubio y Paez, 2009)

Figura N° 03. Humedal artificial de flujo superficial horizontal



Fuente: García y Corzo (2008).

- **Humedales de Flujo Subsuperficial vertical.** Los humedales verticales tipo cascada trabajan bajo el concepto del patrón de flujo a pistón de manera vertical, es decir, se tienen varias cámaras en serie provistas de los elementos necesarios para la correcta operación de un humedal artificial, alimentadas con agua de una cámara a la otra y por

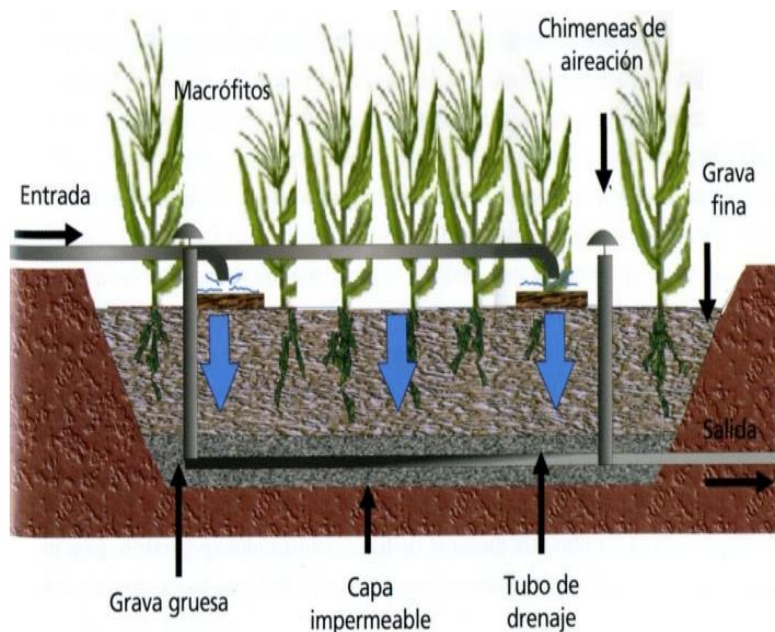
gravedad, pero encerrando la “cascada” en tubería para evitar salpicaduras en el sitio de trabajo. (Rubio y Paez, 2009)

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,80 m. Operan con cargas de alrededor de 20-40 g DBO/m²×día, producen efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores. (García y Corzo, 2008).

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación. (García y Corzo, 2008).

La alimentación se realiza distribuida uniformemente y habitualmente por cargas por toda la superficie, y la recogida a lo largo de todo el fondo. (García y Corzo, 2008).

Figura N° 04. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical



Fuente: García y Corzo (2008).

1.3.2.7 Partes de los humedales artificiales

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

• Agua residual:

El agua es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para el mantenimiento estructural y funcional del humedal. Éstas afectan a muchos factores abióticos, incluyendo el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal. Finalmente, y para completar el ciclo, los componentes bióticos actúan alterando la hidrología y otras características fisicoquímicas del humedal. (García y Corzo, 2008).

• Sustrato:

En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico.

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos.

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.

- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal. (Delgadillo et al., 2010)

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el 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 este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar. (Delgadillo et al., 2010)

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. De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas). (Delgadillo et al., 2010)

• **Vegetación:**

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir 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. (Delgadillo et al., 2010)

• **Microorganismos:**

En los humedales, la red de alimentos ecológicos requiere de bacterias microscópicas, o microbios, para funcionar en todas sus complejas transformaciones de energía. En un humedal artificial, la red de alimentos es abastecido por las aguas residuales del afluente, que proporciona la energía almacenada en moléculas orgánicas. Muchas transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son debidas al metabolismo microbiano y están directamente relacionadas con el crecimiento de los microorganismos. Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. Esta biomasa se encuentra formando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho. (García y Corzo, 2008).

La actividad microbiana es particularmente importante en las transformaciones de nitrógeno en distintas formas biológicamente útiles. En las diferentes fases del ciclo del nitrógeno, por ejemplo, diferentes formas de nitrógeno están disponibles para el metabolismo de la planta y el oxígeno pueden ser liberados o consumidos. La absorción de fósforo por las plantas también depende en parte de la actividad microbiana, que convierte las formas insolubles de fósforo en las formas solubles que se encuentran disponibles para las plantas. Los microbios también procesan compuestos orgánicos (de carbono) y liberan dióxido de carbono en las zonas aeróbicas de un humedal artificial y una variedad de gases (dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano) en las zonas anaeróbicas. Las plantas, residuos vegetales, y sedimentos proporcionan superficies sólidas donde la actividad microbiana puede ser concentrada. (García y Corzo, 2008).

La actividad microbiana varía según las estaciones en las regiones frías, con menor actividad en los meses más fríos, aunque la diferencia de

rendimiento en climas cálidos frente a fríos es menor en humedales artificiales a gran escala que a pequeña escala, en experimentos controlados, al parecer porque de la multiplicidad de transformaciones físicas, químicas y biológicas tienen lugar simultáneamente en un área más grande contigua. (García y Corzo, 2008).

1.3.2.8 Mecanismos de depuración

Existen cuatro factores en combinación básicos:

- Microorganismos depuradores.
- Medio inerte de soporte o medio filtrante
- Tiempo de residencia hidráulica o tiempo de retención.
- Tipo de agua residual, el mismo que sirven como parámetros para el diseño de los humedales. (Patiño y Zhinin, 2011)

En los humedales de flujo subsuperficial la remoción de DBO_5 ocurre por la deposición y filtración de materia orgánica sedimentable en los primeros centímetros de lecho de grava, además es ahí donde ocurren procesos posteriores de descomposición microbiológica. La DBO_5 remanente y que se encuentra en forma coloidal y disuelta entra en contacto con la película biológica que se encuentra adherida al lecho filtrante-rizoma; en esta etapa actúan los mecanismos de transferencia de masa, transporte de materiales entre la fase líquida y sólida y la acción enzimática heterotrófica. (Peña, Van y Madera, 2011)

Una relación constante de primer orden (KT) basada en la temperatura y la tasa de reacción a 20°C , la cual está relacionada con la porosidad del medio y con una tasa de reacción óptima para un medio con la zona radicular completamente desarrollada; aunque la porosidad del medio es difícil determinar debido a que decrece con el tiempo y varía espacialmente con la densidad de las raíces y el taponamiento propio del sistema; se debe tener precauciones en las estimaciones del valor de KT, ya que con ecuaciones más elaboradas se puede obtener una falsa precisión. (Peña et al., 2011)

El material del vegetal muerto se acumula en la superficie del lecho filtrante, algunos nutrientes, metales u otros elementos captados por la planta son reciclados nuevamente dentro del sistema (Llagas y Guadalupe., 2006).

El oxígeno trasportado por las macrófitas puede ser utilizado por los microorganismos que crecen sobre ellos en forma de biopelícula, en las biopelícula más próximas a los rizomas se dan procesos aerobios, mientras que, en las más alejadas, al no difundirse el oxígeno, se dan procesos anaerobios, es así que se da la nitrificación y desnitrificación. (Patiño y Zhinin, 2011)

La capacidad de transferencia de oxígeno por las macrófitas se estima 0-3 g O₂/m²/día, lo que equivale 30kg DBO₅/ha/día, muy bajo para las cargas usuales del agua residual. En el interior de los humedales se da una trasferencia de oxígeno entre la atmósfera en valores de 0-0,5 g O₂/m².día, por lo que en los humedales de flujo subsuperficial se dan condiciones fuertemente reductoras. (Patiño y Zhinin, 2011)

Las macrófitas asimilan macronutrientes (N y P) y micronutrientes, incluidos metales pesados, en unas tasas calculadas en 12 g N/m².año y 1,8- 18 g P/m²/año, muy bajas en comparación con las aguas residuales. A todo esto, se adiciona el efecto termorregulador de las macrófitas sobre el sistema, esto disminuye la insolación en verano y actúa como aislante en invierno, lo cual resulta positivo para los procesos biológicos. La calidad estética que aportan a las instalaciones es de gran valor para su uso en humedales. (Patiño y Zhinin, 2011)

El sedimento orgánico es un elemento fundamental en el proceso de depuración por humedales, este sirve de sustrato para el crecimiento de multitud de microorganismos, incluyendo los responsables de la nitrificación y desnitrificación; presenta además una elevada capacidad

de cambio, juega un papel importante en la dinámica del fósforo , cuyo principal mecanismo de eliminación es la asimilación por los seres vivos, su adsorción a las arcillas y la precipitación y formación de complejos de Al, Fe y Ca presentes en los sedimentos. (Patiño y Zhinin, 2011)

1.3.2.8.1. Eliminación del DBO₅

La eliminación de la DBO₅ ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios entre la grava y raíces, esta es eliminada por los microorganismos que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las macrofitas.

La materia orgánica es degradada de forma aerobia en micro sitios de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto de lecho sumergido ocurre de forma anaerobia: fermentación mecánica y sulfato de reducción.

La temperatura tiene una influencia muy fuerte, por lo que se observan variaciones estacionales en la DBO₅ del efluente. Se puede obtener una DBO₅ por debajo de 25 mg/l, aunque no es posible bajar de una DBO₅ de 7-10 mg/l, que parece proceder de residuos orgánicos del propio sistema y no del agua residual original. (Patiño y Zhinin, 2011)

1.3.2.8.2. Eliminación de materia de suspensión

En los humedales de flujo subsuperficial los mecanismos de eliminación son diversos, la materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipos físico, es decir, se filtra en el medio granular. La sedimentación se realiza a causa de la baja velocidad de circulación de agua y el tamizado que se da en los espacios intersticiales del medio granular. Todos estos fenómenos son potenciados por las fuerzas de adhesión que se dan entre los sólidos para formar partículas más grandes (Patiño y Zhinin, 2011)

En los humedales horizontales la eliminación de la materia en suspensión sucede en su mayor parte en la zona de entrada lo que permite la mengua de la concentración a lo largo del lecho; es en $1/4 - 1/3$ de la longitud del sistema que permite la eliminación total de la materia en suspensión. En los humedales de flujo vertical la materia orgánica queda retenida en los primeros centímetros del medio granular. A medida que el agua recorre los horizontes del filtro se disminuye la concentración de los contaminantes. (Patiño y Zhinin, 2011)

Tanto el sistema de flujo horizontal y vertical el rendimiento de eliminación de la materia orgánica en suspensión suele ser de más del 90% lo que conlleva a la producción de efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l de materia en suspensión (Patiño y Zhinin, 2011)

1.3.2.8.3. Eliminación de materia orgánica

La eliminación de la materia orgánica es compleja debido a que interaccionan varios procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea. La materia orgánica articulada es retenida por filtración cerca de la entrada en el caso de los sistemas horizontales y en caso de los sistemas verticales en los primeros centímetros de los horizontes del lecho filtrante. (García et al., 2004)

Por fragmentación abiótica, la materia orgánica se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser fácilmente hidrolizadas por enzimas extracelulares; dichas enzimas son producidas por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas. Como resultado de esta hidrólisis es la formación de sustratos sencillos tales como glucosa y aminoácidos que son asimilados por bacterias sulfato reductoras, metanogénicas y bacterias

heterótrofas aeróbicas. En el caso de los sustratos sencillos son asimilados directamente sin necesidad de hidrólisis. (García et al., 2004)

Muchas de las sustancias disueltas se retienen por adsorción, ya sea en la materia orgánica o en el medio granular. Estas sustancias pueden simplemente quedar allí, o bien desplazarse y ser reabsorbidas o degradadas por microorganismos. En los humedales de flujo horizontal la degradación de materia por vía aeróbica se da en la superficie de agua, a 0.05 m de profundidad y en las zonas cercanas a las raíces. (García et al., 2004)

El oxígeno que es liberado por las raíces no es suficiente para degradar completamente de forma aeróbica, en los sistemas horizontales la vía aeróbica no es muy importante como la anaeróbica, es decir en los sistemas horizontales la degradación aeróbica es poco importante con respecto a la vía anaeróbica. (García et al., 2004)

Las bacterias heterótrofas aerobias en ausencia de oxígeno pueden degradar la materia orgánica por vía anaerobia, opera en flujo horizontal debido a que en muchos se han observado eliminación de amoníaco y ausencia de nitrato, lo que indica que el nitrato formado se elimina rápidamente por desnitrificación; esto se debe a que en la profundidad del lecho hay condiciones aeróbicas que impiden la desnitrificación. (García et al., 2004)

En humedales horizontales hay pocos lugares con condiciones aeróbicas por lo que una parte importante del lecho son las bacterias fermentativas facultativas que crecen originando ácidos grasos como el acético y el láctico, alcoholes como el etanol y gases como el H₂, estos compuestos representan sustratos para las bacterias sulfato reductoras y metanogénicas,

todas ellas anaeróbicas. Para las heterótrofas aeróbicas en el caso de que dichos sustratos estén disponibles en zonas aeróbicas (García et al., 2004)

El sulfato reducción se presenta como un medio importante de degradación de la materia orgánica en sistemas horizontales, en los humedales las bacterias sulfato reductoras y las metanogénicas pueden competir por el sustrato, y en presencia de sulfato y alta carga orgánica las bacterias sulfato reductoras crecen con más éxito. A medida que ganan importancia las vías anaeróbicas en detrimento de las anóxicas y anaerobias la eficiencia disminuye por lo que los humedales verticales alcanzan mejores rendimientos de eliminación debido a que predominan las vías aeróbicas. (García et al., 2004)

La eliminación de la materia orgánica en humedales horizontales y verticales es óptima si cuentan con buenos parámetros de diseño y construcción. Es así que para valores de DBO y DQO se alcanza rendimientos entre 75 y 95% produciendo efluentes con concentración de DQO menos de 60 mg/l y de DBO menor de 20 mg/L. (García et al., 2004)

1.3.2.8.4. Eliminación de patógenos

La eliminación de organismos patógenos en los humedales tanto verticales como horizontales depende de factores como filtración, adsorción, depredación, tiempo de permanencia y medio granular. Cuan menos es el diámetro del medio granular, mayor es el nivel de eliminación obtenido. Se suele utilizar organismos indicadores de contaminación fecal tales como coliformes fecales; el grado de eliminación obtenido en humedales horizontales es similar a los obtenidos en los verticales, los mismos que oscilan entre 1-2 Unidades Logarítmicas/100 ml, pero estos valores no son aptos para el

riego agrícola por lo que se recomienda dotar al sistema de humedales de lagunas o humedales de flujo superficial que favorece la desinfección. También se puede clorar el efluente (García et al., 2004)

1.3.2.9 Plantas

1.3.2.9.1. *Cyperus papyrus* (Papiro)

Cyperus papyrus L, es una planta originaria de Egipto que crece en las orillas del río Nilo y su delta, y servía para elaborar los antiguos papiros manuscritos. El *Cyperus papyrus*, es una herbácea acuática perenne, monocotiledónea, cespitosa, con rizomas horizontales cortos y gruesos y un extenso aparato radical; presenta tallos (cañas) en secciones más bien triangulares, erectos, altos 2-5 m y anchos en la base hasta cerca 6 cm, lisos llenos de un tejido esponjoso (parénquima) en donde están presentes grandes espacios intercelulares que facilitan la circulación del aire, con el fin de llevar el oxígeno hacia las partes sumergidas. Sus hojas son de color verde jade, largas, delgadas, firmes, con espigas marrones, de diez a treinta cm de largo y sus hojas dispuestas en estrella. Tiene una gran inflorescencia liviana y plumosa en abanico y, curiosamente, los nuevos brotes surgen siempre del mismo segmento. El papiro se multiplica principalmente a través de sus rizomas, de las que brotan nuevos troncos a intervalos regulares. Produce también semillas que pueden ser transportadas por el viento. Tolerancia temperaturas de 20 a 33 °C, y pH entre 6 y 8,5. (Patiño y Zhinin, 2011)

Figura N° 05. Planta de *Cyperus papyrus*



Fuente: Patiño y Zhinin (2011)

En las riberas cubiertas de papiros, sólo los animales grandes y pesados pueden abrirse camino, como elefantes o hipopótamos, y los demás seres utilizan estas vías para transitar. Crece sobre terrenos arenosos y colmados de humedad, con abundante insolación durante todo el año, pudiendo tener el pie de su tronco totalmente sumergido en el agua (Patiño J. y Zhinin F., 2011).

1.3.2.9.2. *Typha angustifolia* (Totora)

Una de las macrófitas más conocidas y difundidas en el medio es la Totora (*Typha angustifolia*). Esta especie se encuentra en el Lago Titicaca a la Laguna Alalay.

Esta macrófita forma parte de la amplia gama de plantas fitodepuradoras empleadas en los sistemas no convencionales de depuración de aguas residuales. En este apartado

presentamos las características de la totora como agente depurador. (Delgadillo et al., 2010)

Características morfológicas

La totora son ancestros directos de los denominados “vegetales vasculares” tienen epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, y desde ahí hacia las raíces. (Delgadillo et al., 2010)

• Rizomas

La totora tiene rizomas, que son tallos subterráneos que crecen paralelamente a la superficie del suelo. Éstos presentan a un lado raíces adventicias y a las otras ramas hacia la superficie con hojas y yemas.

Acumulan reservas, con lo que aumentan su volumen, y en épocas favorables las yemas aprovechan esas reservas para germinar. (Delgadillo et al., 2010)

• Tallos

Varían de 1 m a 5 m, erectos, remotos o próximos entre sí; lisos, trígonos o subteretes, verde-amarillentos cuando secos. Presentan vainas foliares pardo oscuro, sin láminas. (Delgadillo et al., 2010)

Los tallos tienen aerénquimas, que son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos.

En las plantas vasculares, los tejidos de conducción están asociados a células parenquimáticas y tejidos de sostén. Se

agrupan en pequeños haces conductores, que son de dos clases:

Xilema

El xilema está formado por vasos leñosos o tráqueas.

Incluyen también las denominadas traqueidas, formadas por células alargadas con orificios llamados puntuaciones, que las comunican entre sí. (Delgadillo et al., 2010)

Floema

El floema está constituido por tubos o células cribosas.

Entre las células existen tabiques con agujeros o cribas que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas. (Delgadillo et al., 2010)

• Inflorescencia

La inflorescencia es descompuesta. Brácteas hasta 10cm; bractéolas hasta 5 cm. Espiguillas de 3 mm, ovoides, agudas, agrupadas, rojizo glanduloso. Aquenios oblongos, amarillentos o pardo oscuro; escamas irregularmente plumosas. (Delgadillo et al., 2010)

• Reproducción

En la mayoría de los casos, la totora se reproduce vegetativamente. La reproducción por semillas es muy limitada debido a que generalmente no logran germinar.

La reproducción vegetativa es por desarrollo de propágulos vegetativos; o sea, mediante células especializadas en propagar la planta (meristemas), agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente. (Delgadillo et al., 2010)

Figura N° 06. Planta de *Typha angustifolia*



Fuente: Delgadillo et al. (2010)

1.3.3 Definición de términos.

Agua residual doméstica

Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Bacterias

Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que interviene en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

Coliformes

Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0,5$ °C (coliformes totales).

Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44,5 \pm 0,2$ °C en 24 horas se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termo tolerantes).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

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

Demanda química de oxígeno (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

Depuración de aguas residuales

Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Eficiencia del tratamiento

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

Grasas y aceites

Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente.

Potencial de hidrógeno pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final.

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial.

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25 C° A 35 C°.

1.3. Variables

1.4.1 Variable Independiente:

X = Humedal Artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*.

1.4.2 Variable Dependiente:

Y = Aguas residuales domésticas.

Indicadores: Remoción de parámetros (coliformes termo tolerantes, sólidos en suspensión, DQO, DBO₅, temperatura y pH)

1.4. Hipótesis

H1: Si se aplica el humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* entonces será eficiente la depuración de las aguas residuales domésticas.

H0: Si se aplica el humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* entonces no será eficiente la depuración de las aguas residuales domésticas.

CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

De acuerdo a la orientación.

- Aplicada

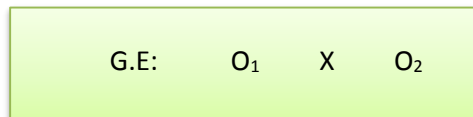
De acuerdo a la técnica de contrastación

- Explicativa

2.2. Diseño de investigación

Para el diseño de contrastación de la hipótesis se empleó el diseño de pre-prueba, post-prueba, con un solo grupo; se aplicó la pre-prueba (a la entrada del humedal artificial) al agua residual provenientes del tanque séptico de la Ladrillera Montalván Hermanos, luego se administró el tratamiento, en donde el humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* han realizado el proceso de remoción de contaminantes, después se aplicó una post-prueba (a la salida del humedal artificial) al agua residual depurada. Con los datos obtenidos hemos realizado una comparación de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual con los Límites Máximos Permisibles, y con ello evaluamos la eficiencia del humedal artificial en la depuración de las aguas residuales domésticas.

Diagrama del diseño:



X = Variable Independiente.

O₁ = Medición pre – experimental de la variable independiente.

O₂ = Medición post – experimental de la variable independiente.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población.

La población está comprendida por un caudal de entrada al humedal artificial de 8 m³/día generada en la Ladrillera Montalván Hermanos - Habana.

2.3.2. Muestra.

Se realizaron 12 muestras (6 antes y 6 después del humedal artificial) de 500ml de agua residual cada una, haciendo un total de 6 litros.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1. Técnicas de recolección de datos secundarios:

➤ Recolección de información:

A través de documentales, bibliografías y tesis.

2.4.2. Técnicas de recolección de datos primarios:

Para efectos de investigación se siguió el siguiente procedimiento:

➤ Se construyó el humedal artificial en la Ladrillera Montalván Hermanos con los siguientes procedimientos:

1. Se realizó la limpieza del terreno en el que se va a construir el humedal artificial.
2. Se excavó una zanja para el humedal artificial, con un perímetro de 1,80m de largo, 0,60m de ancho y una profundidad de 0,85m; a esta medida se le adicionó 0,15m a cada lado para la colocación del ladrillo, y 0,10 cm de profundidad más para el solado.
3. Se procedió a preparar el concreto simple (cemento portland, hormigón, arena) para el solado con un espesor de 10cm.
4. Se construyó las paredes del humedal artificial en todo su perímetro con ladrillo.
5. Se colocó el sistema de drenaje o recolección y ventilación en base del humedal artificial, se armó con tuberías de PVC 2" y los accesorios necesarios como: tees, codos y pegamento de tuberías, formando un circuito rectangular para garantizar la recolección de agua. A las tuberías de recolección se perforaron con orificios de ½". En este sistema se conectaron 04 tuberías de aireación de PVC 2", con el objetivo de incrementar la cantidad de oxígeno en el humedal artificial.

6. Se colocó el sistema de distribución del agua residual en la superficie del humedal artificial, se armó con tuberías de PVC 1" y los accesorios necesarios como: tees, codos y pegamento de tuberías, formando un circuito rectangular para garantizar la correcta distribución del agua residual. A las tuberías de distribución se perforaron con orificios de 1/4".
 7. Se colocó los sustratos para nuestras plantas las cuales fueron:
 - Arena (0,25 - 0,40 mm): 20 cm.
 - Tierra negra: 10 cm.
 - Grava media (3 - 10 mm): 20cm.
 - Grava fina (20 - 40 mm): 20 cm.
 8. Se construyó dos cajas de registro, una antes y otra después del humedal artificial. La dimensión de cada caja es 0,30m de ancho, 0,60m de largo y 0,60m de profundidad, los cuales sirven como punto de muestreo.
 9. Se instaló las tuberías de conducción del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial, en ella se utilizó tuberías de PVC de 2".
- Se recolectaron 05 plantas de cada especie designada para el humedal artificial, las mismas que fueron extraídas de 1 mes aproximadas de crecimiento. La *Typha angustifolia*, se extrajo de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales Doméstica – Soritor; y el *Cyperus papyrus* de la huerta de un poblador de Habana.
- Se sembraron a un mes de crecimiento de 0,40m a 0.60m, aquellas que para su proceso de adaptación y estabilidad en el medio han necesitado 30 días. Inicialmente los humedales fueron alimentados con agua de pozo, posteriormente con una mezcla entre agua de pozo y agua residual en porción 1:1 y finalmente con un 100% de agua residual. Cada una de estas fases se realizó en un periodo de 10 días. Al culminar los 30 días de la etapa de adaptación de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* tenían una altura de 0,80m a 1,00m; en ella murieron 01 especie de cada planta trabajada. La siembra se realizó el 1 de noviembre del 2016.

- La toma de muestras se realizó en las dos cajas de registro que se encuentran ubicadas a la entrada y salida del humedal artificial de aguas residuales se realizó cada 15 días durante 3 meses en las siguientes fechas:

Cuadro N° 01. Crecimiento de las plantas según fecha de muestreo

	<i>Cyperus papyrus</i>	<i>Typha angustifolia</i>
1 Muestra (15/12/2016)	45 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,10m - 1,30)	45 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,10m - 1,30)
2 Muestra (30/12/2017)	60 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,40m - 1,60m) 1 brote: 03 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 07	60 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,40m - 1,60m) 1 brote: 02 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 06
3 Muestra (14/01/2017)	75 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,70m - 1,80m) 1 brote: 03 brotes (0,40m - 0,60m) Total de plantas: 07	75 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,70m - 1,80m) 1 brote: 02 brotes (0,40m - 0,60m) Total de plantas: 06
4 Muestra (29/01/2017)	90 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,90m - 2,10m) 1 brote: 03 brotes (0,80m - 1,00m) 2 brote: 02 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 09	90 días de sembradas N° de plantas: 04 (1,90m - 2,10m) 1 brote: 02 brotes (0,80m - 1,00m) 2 brote: 02 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 08
5 Muestra (13/02/2017)	105 días de sembradas N° de plantas: 04 (2,20m - 2,40m) 1 brote: 03 brotes (1,10m - 1,30m) 2 brote: 02 brotes (0,40m - 0,60m) Total de plantas: 09	105 días de sembradas N° de plantas: 04 (2,20m - 2,40m) 1 brote: 02 brotes (1,10m - 1,30m) 2 brote: 02 brotes (0,40m - 0,60m) Total de plantas: 08
6 Muestra (28/02/2017)	120 días de sembradas N° de plantas: 04 (2,50m - 2,70m) 1 brote: 03 brotes (1,40m - 1,60m) 2 brote: 02 brotes (0,70m - 0,90m) 3 brote: 03 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 12	120 días de sembradas N° de plantas: 04 (2,50m - 2,70m) 1 brote: 02 brotes (1,40m - 1,60m) 2 brote: 02 brotes (0,70m - 0,90m) 3 brote: 02 brotes (0,10m - 0,20m) Total de plantas: 10

Fuente: Elaboración propia

- La empresa Anaquímicos Servicios Generales se encargó de la caracterización de los parámetros físico químico y microbiológico, que son: Coliformes Termotolerantes, DQO, sólidos totales en suspensión, DBO5, temperatura, pH, de las cuales los dos últimos parámetros lo realizaron in situ.

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Cálculos matemáticos
 - Obtener el caudal
 - Dimensionamiento del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical.
 - Eficiencia de remoción de los parámetros del humedal artificial
- Programas de Ingeniería
 - AutoCAD: Para el diseño del humedal artificial subsuperficial del flujo vertical.
- Estadística descriptiva
 - La media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1. Resultados

3.1.1. Diseño del humedal artificial Subsuperficial de flujo Vertical

- Calculo del caudal:

Para poder dimensionar el humedal artificial, el primer paso fue calcular el caudal, para la cual se utilizó el método volumétrico que consiste dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. El resultado expresa el caudal medido en litros por segundo. Las pruebas se realizaron en un balde pequeño de 4L.

Cuadro N° 02. Tiempo de llenado del balde de 4L.

T ₁	42,49 seg
T ₂	44,01 seg
T ₃	43,16 seg
Promedio	43,22 seg

Fuente: Cuaderno de campo

Luego se calculó el caudal con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q = 4 \text{ L} / 43,22 \text{ seg}$$

$$Q = 0,09254975 \text{ L} / \text{seg}$$

$$Q = 8 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se debe tomar en cuenta las siguientes variables en el diseño de humedales artificiales subsuperficial de flujo vertical.

- Área superficial

Para el cálculo del área se utilizó las expresiones basadas en investigación de diversos autores, una de ellas es la siguiente ecuación (ONU-HABITAT, 2008):

$$K_T = K_{20} * 1,06^{T-20}$$

$$K_T = 29,64 \text{ d-1}$$

Donde:

K_{20} = Constante de temperatura a 20°C, 1,104 d-1 para aguas residuales municipales.

T = Temperatura de operación del sistema, °C.

$$A_s = \frac{Q \times (\ln DBO_{co} - \ln DBO_{cl})}{(kt) \times (d) \times (n)}$$

$$A_s = \frac{8 \times (\ln(350) - \ln(100))}{(29,64) \times (0,85) \times (0,38)}$$

$$A_s = 1,05 \text{ m}^2$$

Donde:

DBO_{co} = Concentración inicial del contaminante o afluente, mg/l.

DBO_{cl} = Concentración final del contaminante o efluente, mg/l.

K_T = Constante de la temperatura, día⁻¹

d = Profundidad del humedal, m

n = Porosidad del sustrato, %

Cuadro N° 03. Materiales empleados en la construcción de humedales artificiales subsuperficiales

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica, k_s (m ³ /mm ² /d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100 - 1,000	28 - 32
Arena gravosa	8	500 - 5,000	30 - 35
Grava fina	16	1 000 – 10 000	35 - 38
Grava media	32	10 000 – 50 000	36 - 40
Roca gruesa	128	50 000 – 250 000	38 - 45

Fuente: Lara (1999).

- Profundidad del humedal artificial

La profundidad para este tipo de humedal está comprendida entre 50 a 80 cm. (Delgadillo O. Et al., 2010) Se recomienda una profundidad de 70 cm que favorece una nitrificación y la remoción de contaminantes orgánicos.

Asumimos: $h = 0,85 \text{ m}$

Nivel del agua a tratar $h = 0,70 \text{ m}$

Borde libre = $0,15 \text{ m}$

- Medio granular

- Arena (0,25-0,40 mm): 20 cm.
- Tierra negra: 10 cm.
- Grava fina (3-10 mm): 20cm.
- Grava media (20-40 mm): 20 cm.

- Tiempo de retención hidráulico

$$\text{TRH} = \frac{A_s \times d \times n}{Q}$$

$$\text{TRH} = \frac{1,05 \times 0,85 \times 0,38}{8,0} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}}$$

$$\text{TRH} = 1,01 \text{ hora}$$

- Pendiente

La pendiente o gradiente hidráulico del humedal artificial en la superficie debe ser plana (0%) para evitar encharcamientos, mientras que en el fondo se encuentra entre 0,5 a 2 %, pero se recomienda una inclinación del 1% para facilitar una construcción y drenaje adecuado. (Delgadillo O. Et al., 2010)

Pendiente = 1%

- Relación largo – ancho

La relación largo/ancho están entre 2:1 y 4:1, por lo que se recomienda 3:1 (García D. y Leal D. 2006).

$$L = 3 W$$

$$L = 3 (0,60)$$

$$L = 1,80 \text{ m}$$

$$A_s = L \times W = 3W \times W = 3W^2$$

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

$$W = 0,59\text{m}$$

Redondeamos a 0,60m

Donde:

L = Largo

W = Ancho

El diseño realizado en Autocad se puede ver en el Anexo N° 03.

3.1.2. Determinación de parámetros del agua residual doméstica.

Primera caracterización del agua residual:

Después de 45 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totorá), se realizó la primera caracterización del agua residual doméstica. Ha esta fecha las plantas no se adaptaban al medio filtrante.

Para la presente investigación se decidió evaluar 6 parámetros las cuales son: Coliformes Termotolerantes, DQO, Sólidos Totales en Suspensión, DBO₅, Temperatura y pH; la toma de muestra se hizo en la entrada y en la salida del humedal artificial. Los datos se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 04. Valores de los parámetros a los 45 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 473	1 607
Sólidos totales en suspensión	mg/L	192	43
DQO	mg/L	380	223
DBO ₅	mg/L	245	122
IN SITU			
Temperatura	°C	22,3	21,5
pH	Unidad	6,32	6,9

Fuente: Informe N°185 y 186 de Anaquímicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes presentan un valor de entrada de 5473 NMP/100mL y una salida de 1607 NMP/100mL, los SST ingresan con 192 mg/L y salen con 43 mg/L, estos dos resultados anteriores cumplen con los parámetros establecidos por el ministerio; mientras que el DQO tiene una entrada de 380 mg/L y una salida de 223 mg/L, el DBO₅ ingresa con 245 mg/L y tiene una salida de 122 mg/L, han reducido considerablemente sus resultados pero no se encuentran en el rango permitido, la T° tiene un ingreso de 22,3°C y una salida de 21,5 °C bajando menos de 1°C, el pH varía entre 6,32 y 6,9.

Segunda caracterización del agua residual:

El segundo análisis fue tomado a los 60 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), se realizó la segunda caracterización del agua residual doméstica. Ha esta fecha las plantas ya se encuentran adaptadas al medio filtrante, miden entre 1,40m a 1,60m y se observa nuevos brotes, los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro N° 05. Valores de los parámetros a los 60 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 615	1 423
Sólidos totales en suspensión	mg/L	187	38
DQO	mg/L	374	201
DBO ₅	mg/L	223	115
IN SITU			
Temperatura	°C	22,7	21,6
pH	Unidad	6,20	7,00

Fuente: Informe N°20 y 21 de Anaquímicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes presentan un valor de entrada de 5615 NMP/100mL y una salida de 1423 NMP/100mL, los SST ingresan con 187 mg/L y salen con 38 mg/L, estos dos resultados anteriores siguen bajando y cumpliendo con los parámetros establecidos por el ministerio; mientras que el DQO tiene una entrada de 374 mg/L y una salida de 201 mg/L, el DBO₅ ingresa con 223 mg/L y tiene una salida de 115 mg/l, siguen bajando y acercándose al rango permitido, la T° tiene un ingreso de 22,7°C y una salida de 21,6 °C bajando más de 1°C, el pH varía entre 6,20 y 7,00.

Tercera caracterización del agua residual:

El tercer análisis fue tomado a los 75 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), se realizó la tercera caracterización del agua residual doméstica. Ha esta fecha los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro N° 06. Valores de los parámetros a los 75 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 526	1 341
Sólidos totales en suspensión	mg/L	190	33
DQO	mg/L	376	186
DBO ₅	mg/L	236	107
IN SITU			
Temperatura	°C	22,4	21,4
pH	Unidad	6,43	6,93

Fuente: Informe N°28 y 29 de Anaquímicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes presentan un valor de entrada de 5526 NMP/100mL y una salida de 1341 NMP/100mL, los SST ingresan con 190 mg/L y salen con 33 mg/L, el DQO tiene una entrada de 376 mg/L y una salida de 186 mg/L, ahora tres resultados que siguen bajando y cumpliendo con los parámetros establecidos por el ministerio; mientras que el DBO₅ ingresa con 236 mg/L y tiene una salida de 107 mg/l, este parámetro sigue bajando y acercándose al rango permitido, la T° tiene un ingreso de 22,4°C y una salida de 21,4 °C bajando 1°C, el pH varía entre 6,43 y 6,93.

Cuarta caracterización del agua residual:

El cuarto análisis fue tomado a los 90 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), se realizó la cuarta caracterización del agua residual doméstica. Las plantas emergentes miden entre 1,90m a 2,10m, además observamos nuevos botes; y los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro N° 07. Valores de los parámetros a los 90 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 572	1 193
Sólidos totales en suspensión	mg/L	193	29
DQO	mg/L	381	169
DBO ₅	mg/L	250	92
IN SITU			
Temperatura	°C	22,3	21,4
pH	Unidad	6,15	7,15

Fuente: Informe N°33 y 34 de Anaquímicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes tienen un valor de entrada de 5572 NMP/100mL y una salida de 1193 NMP/100mL, los SST ingresan con 193 mg/L y salen con 29 mg/L, el DQO tiene una entrada de 381 mg/L y una salida de 169 mg/L, el DBO₅ ingresa con 250 mg/L y tiene una salida de 92 mg/L, la T° tiene un ingreso de 22,3°C y una salida de 21,4 °C bajando menos de 1°C, el pH varía entre 6,15 y 7,15, podemos observar que los parámetros de salida siguen disminuyendo considerablemente sus resultados y que en este período de tiempo de sembrado todos los parámetros se encuentran cumpliendo lo establecido en el ministerio.

Quinta caracterización del agua residual:

El quinto análisis fue tomado a los 105 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), se realizó la quinta caracterización del agua residual doméstica y los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro N° 08. Valores de los parámetros a los 105 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 507	1 008
Sólidos totales en suspensión	mg/L	185	23
DQO	mg/L	378	153
DBO ₅	mg/L	239	83
IN SITU			
Temperatura	°C	22,5	21,3
pH	Unidad	6,42	7,50

Fuente: Informe N°36 y 37 de Anatómicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes tienen un valor de entrada de 5507 NMP/100mL y una salida de 1008 NMP/100mL, los SST ingresan con 185 mg/L y salen con 23 mg/L, el DQO tiene una entrada de 378 mg/L y una salida de 153 mg/L, el DBO₅ ingresa con 239 mg/L y tiene una salida de 83 mg/L, la T° tiene un ingreso de 22,5°C y una salida de 21,3 °C bajando más de 1°C, el pH varía entre 6,42 y 7,50, podemos observar que los resultados de los parámetros siguen disminuyendo y, por tanto, son satisfactorios y esperados.

Sexta caracterización del agua residual:

El sexto análisis fue tomado a los 120 días de haber sembrado el *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora), se realizó la sexta caracterización del agua residual doméstica. Ha esta fecha las plantas ya se encuentran adaptadas al medio filtrante, miden entre 2,50m a 2,70m, además observamos nuevos brotes; los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro N° 09. Valores de los parámetros a los 120 días de sembrado el *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultados del humedal artificial	
		Entrada	Salida
LABORATORIO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5 569	972
Sólidos totales en suspensión	mg/L	189	18
DQO	mg/L	377	132
DBO ₅	mg/L	227	75
IN SITU			
Temperatura	°C	22,3	21,4
pH	Unidad	6,37	7,23

Fuente: Informe N°42 y 43 de Anaquímicos Servicios Generales

Interpretación:

Los coliformes termotolerantes tienen un valor de entrada de 5569 NMP/100mL y una salida de 972 NMP/100mL, los SST ingresan con 189 mg/L y salen con 18 mg/L, el DQO tiene una entrada de 377 mg/L y una salida de 132 mg/L, el DBO₅ ingresa con 227 mg/L y tiene una salida de 75 mg/l la T° tiene un ingreso de 22,3°C y una salida de 21,4 °C bajando menos de 1°C, el pH varía entre 6,37 y 7,23, podemos observar que los resultados de los parámetros siguen disminuyendo y, por tanto, son satisfactorios y esperados.

3.1.3. Comparación del efluente del humedal artificial con los LMP

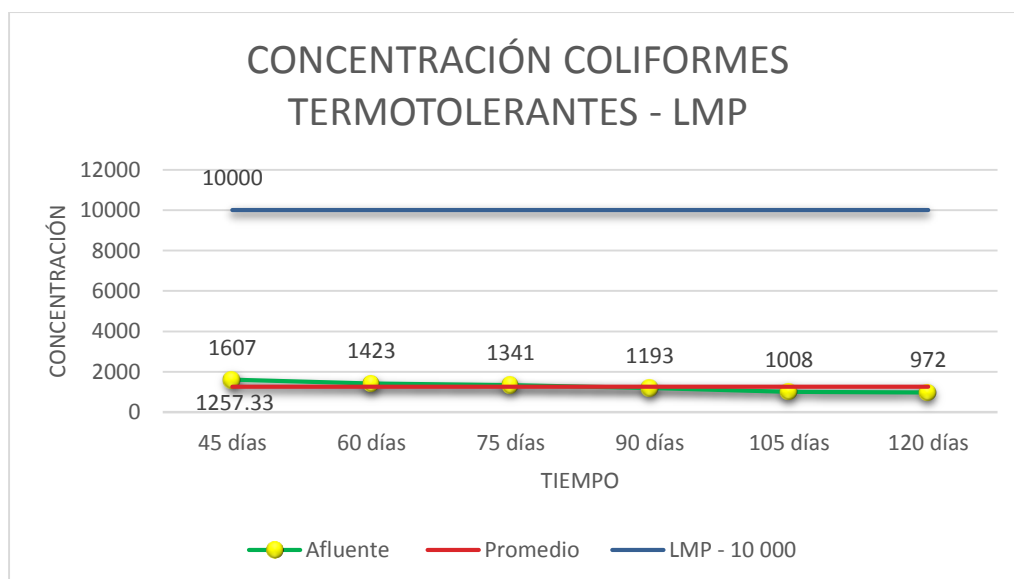
Cuadro N° 10. Valores de los parámetros del efluente del Humedal Artificial

Efluente del humedal artificial						
Parámetros	Coliformes Termotolerantes	Sólidos totales en suspensión	DQO	DBO ₅	Temperatura	pH
Unidad	NMP/100 mL	mg/L	mg/L	mg/L	°C	Potencial de Hidrógeno
45 días	1 607	43	223	122	21,5	6,9
60 días	1 423	38	201	115	21,6	7
75 días	1 341	33	186	107	21,4	6,93
90 días	1 193	29	169	92	21,4	7,15
105 días	1 008	23	153	83	21,3	7,50
120 días	972	18	132	75	21,4	7,23
\bar{X}	1257,33	30,67	177,33	99,00	21,43	7,12
σ	246,75	9,31	32,98	18,60	0,10	0,23
CV	19,63%	30,36%	18,60%	18,79%	0,48%	3,18%
LMP	10 000	150	200	100	< 35	6,5 -8,5

Fuente: Cuadro N°04, 05, 06, 07, 08 y 09; LMP

A continuación se muestran los gráficos con las concentraciones de salida del humedal artificial, el promedio con los Límites máximos Permisibles (LMP).

Gráfico N° 01. Comparación de los Coliformes Termotolerantes con los LMP



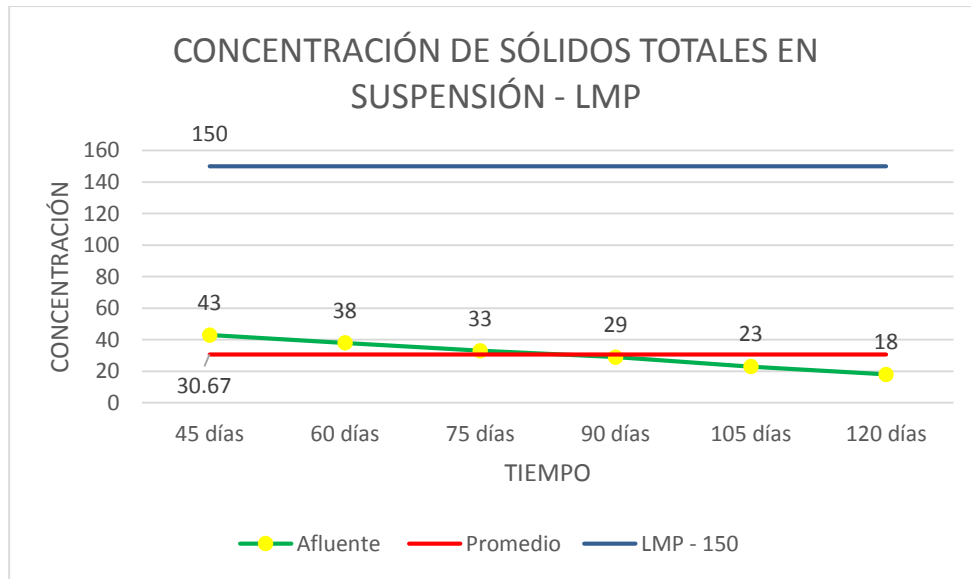
Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de los Coliformes Termotolerantes que se determinó fue a los 120 días con 972 NMP/100mL y una

máxima de 1 607 NMP/100mL a los 45 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 1257,33 NMP/100mL, valores que se encuentran por debajo de los LMP que es 10 000 NMP/100mL.

Gráfico N° 02. Comparación de los Sólidos Totales en Suspensión con los LMP

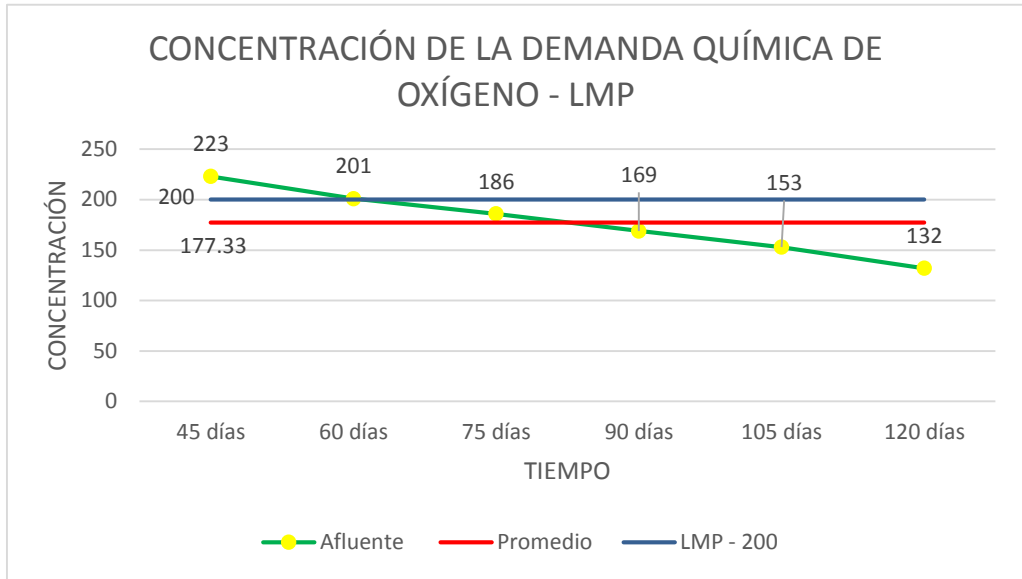


Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de los Sólidos Totales en Suspensión que se determinó fue a los 120 días con 18 mg/L y una máxima de 45 mg/L a los 45 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 30,67 mg/L, valores que se encuentran por debajo de los LMP que es 150 mg/L.

Gráfico N° 03. Comparación de los DQO con los LMP

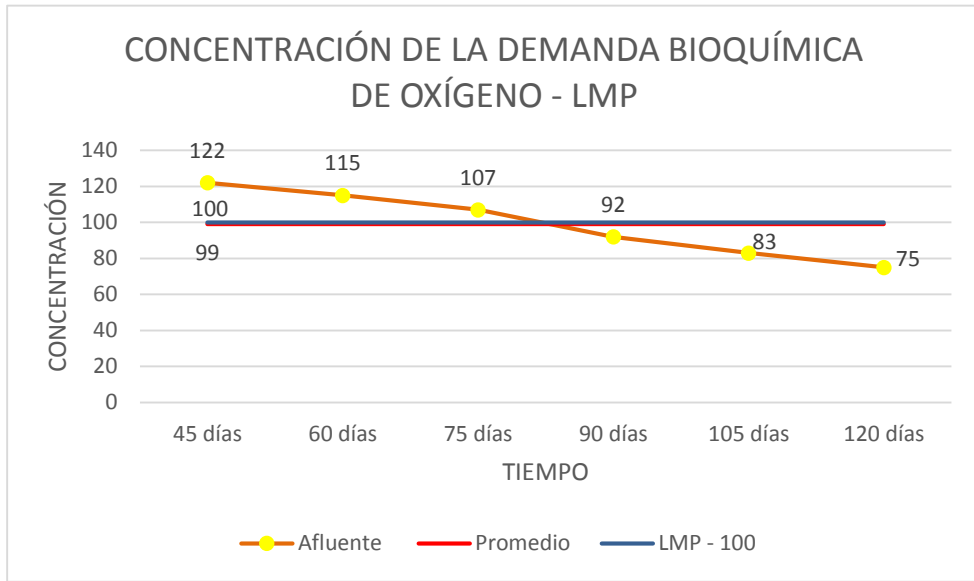


Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de la DQO que se determinó fue a los 120 días con 132 mg/L y una máxima de 223 mg/L a los 45 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 177,33 mg/L, podemos observar que hasta los 60 días de caracterización los valores se encuentran por encima de los LMP y de los 75 días para adelante si cumple con LMP que es 200 mg/L.

Gráfico N° 04. Comparación de los DBO₅ con los LMP

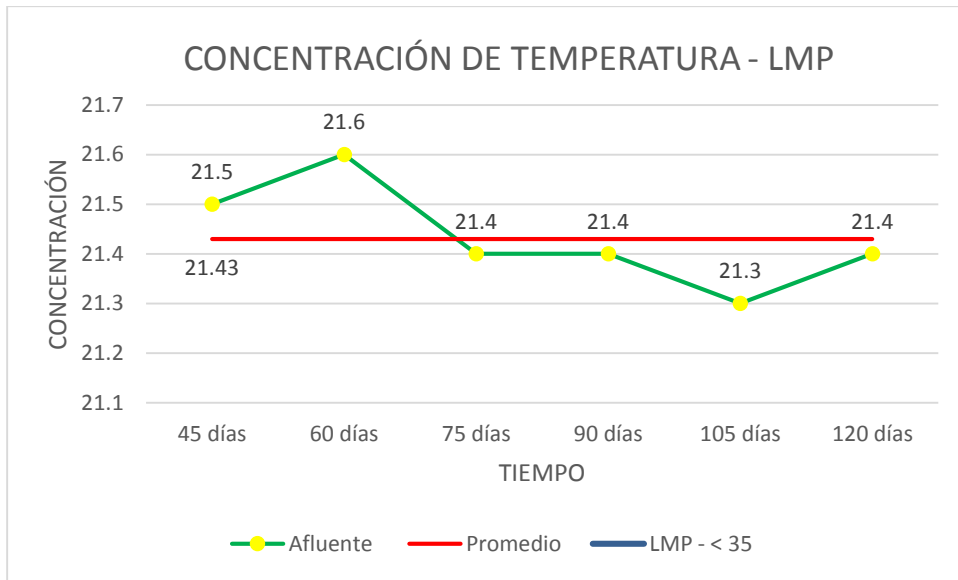


Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de la DBO₅ que se determinó fue a los 120 días con 75 mg/L y una máxima de 122 mg/L a los 45 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 99 mg/L, podemos observar que hasta los 75 días de caracterización los valores se encuentran por encima de los LMP y de los 90 días para adelante si cumple con LMP que es 100 mg/L.

Gráfico N° 05. Comparación de la Temperatura con los LMP

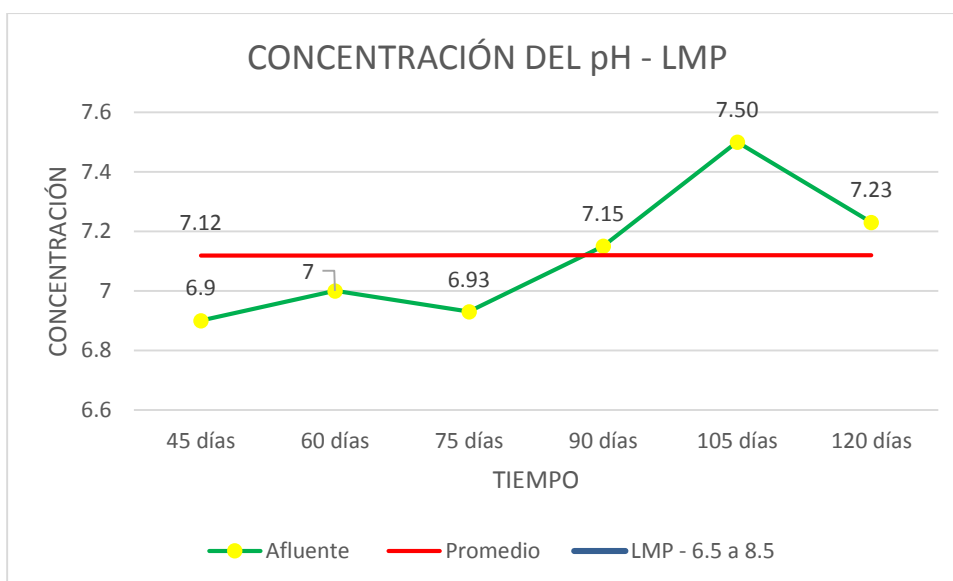


Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de Temperatura que se determinó fue a los 105 días con 21,3°C y una máxima de 21,6°C mg/L a los 60 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 21,43 °C, valores que se encuentran por debajo de los LMP que es menor a 35°C.

Gráfico N° 06. Comparación del pH con los LMP



Fuente: Cuadro N°10

Interpretación:

Del gráfico anterior se puede decir que la concentración mínima de pH que se determinó fue a los 45 días con 6,9 y una máxima de 7,5 a los 90 días de sembrado de las plantas de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*, teniendo como concentración promedio 7,12, valores que se encuentran entre el rango de los LMP que es 6,5 a 8,5; lo que implica que es ligeramente ácido.

3.1.4. Eficiencia en remoción de los parámetros del humedal artificial

Para evaluar la eficiencia del sistema se aplicó la siguiente fórmula:

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

La concentración de entrada y salida durante los 3 meses que se realizó la caracterización que se muestra en los cuadros N° 6, 7, 8, 9, 10 y 11 con estos datos calculamos el porcentaje de remoción que se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 11. Eficiencia y evolución del humedal artificial de los 3 meses evaluados

PARÁMETRO	UNIDAD	1 Análisis (45 días)	2 Análisis (60 días)	3 Análisis (75 días)	4 Análisis (90 días)	5 Análisis (105 días)	6 Análisis (120 días)
		% Remoción	% Remoción	% Remoción	% Remoción	% Remoción	% Remoción
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	70,63	74,65	75,73	78,58	81,69	82,54
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	77,60	79,67	82,63	84,97	87,56	90,47
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	41,31	46,25	50,53	55,64	59,52	64,98
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	50,20	48,43	54,66	63,2	65,27	66,96
Temperatura	°C	3,59	4,85	4,46	4,04	5,33	4,04
pH	Unidad	-9,17	-12,90	-7,77	-16,26	-16,82	-13,50

Fuente: Cuadro N°04, 05, 06, 07, 08 y 09; LMP

Interpretación:

- ❖ Como se aprecia en el cuadro N°11, la remoción de coliformes termotolerantes en los primeros 45 días empieza con el 70,63 %, lo que presenta un alto porcentaje de remoción para ser la primera muestra obtenida, para los 60 días se obtuvo un porcentaje de 74,65 %, donde el porcentaje se eleva, y así irá progresivamente aumentando hasta llegar a los 120 días a una remoción de 82,54 %.

- ❖ En la remoción de sólidos totales en suspensión los primeros 45 días empieza con el 77,6 %, el porcentaje es muy elevado lo cual se debe a las capas de filtros de grava y arena que tiene el humedal artificial, a los 60 días se obtuvo un porcentaje de 79,67 %, y progresivamente irá aumentando su porcentaje entre 2% y 3% de remoción llegando a los 120 días con 90,47%. Este parámetro es el que más % de eficiencia ha tenido, acercándose por una diferencia de 9,5% al 100%.

- ❖ En la remoción de la demanda química de oxígeno va disminuyendo entre 3,8% y 5,5%, en los primeros 45 días empieza con el 41,31 %, para los 60 días se obtiene un porcentaje de 46,25 %, llegando a los 75 días con 50,53 %, para los 90 días llega una remoción de 55,64 %, en los 105 días llega a un porcentaje de 59,52 %, y finalmente a los 120 días llega a una eficiencia de 64,98 %. Este parámetro es el que menos % de eficiencia ha tenido.

- ❖ En la remoción de demanda bioquímica de oxígeno los primeros 45 días empieza con el 50,2 %, para los 60 días se obtuvo un porcentaje más bajo que la anterior con un 48,43 %, después a los 75 días aumenta nuevamente su eficiencia con 54,66 %, para los 90 días llega una remoción de 63,20% aumentando en un 8,5% a la anterior, en los 105 días siga aumentando con un porcentaje de 65,27 %, y finalmente a los 120 días llega a una eficiencia de 66,96 %.

- ❖ En la remoción de la temperatura observamos que a los 60 días tiene un aumento de 4,85% y luego disminuye hasta los 90 días a 4,04 %, seguidamente a los 105 días aumenta a 5,33%, y por último a los 120 días disminuye a 4,04%.

- ❖ En el caso del pH todos los valores porcentuales son negativos, esto se debe a que sus valores de ingreso son menores a los que salen de tratamiento, es decir que los valores de ingreso son menores a este rango de 6,5 – 8,5, lo que la norma nos establece, y para llegar a estos valores los datos de salida tiene que ser mayores.

3.2. Discusiones

Calheiros, C (2007), señala que los humedales artificiales pueden ser usados como tratamientos secundario o terciario para agua residuales domésticas, pluviales, industriales, por su eficiencia en la remoción de diversos contaminantes, aunque son extensamente usados para aguas residuales municipales. Es por ello que para su mayor eficiencia del Humedal Artificial se optó por sembrar dos plantas emergentes en el mismo humedal. Nuttall et al., (1997) señala que los humedales construidos son efectivos en la reducción de sólidos suspendidos, sustancias oxidantes, partículas orgánicas, nutrientes y patógenos principalmente. Así mismo, Gómez et al. (2001) señala que muchos estudios han confirmado los beneficios de su implementación como unidades de tratamiento secundario y terciario; y por último García y Corzo (2008), señala que los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales. Al igual que Calherios en este estudio se usó dos plantas como *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* para una mayor eficiencia en el humedal artificial y de flujo vertical lo cual como señala García tiene mayor capacidad de tratamiento que otras.

Torres et al. (2015) *Cyperus papyrus*, (papiro) pertenece a la familia Cyperaceae, llega a tener una altura de 4 a 5 m con una profundidad radical de 0,2 – 0,4 m, se caracteriza por su absorción de metales pesados, el papiro se multiplica principalmente a través de sus rizomas, de las que brotan nuevos troncos a intervalos regulares. Produce también semillas que pueden ser transportadas por el viento. Tolera temperaturas de 20 a 33°C, y tiene un pH entre 6 - 8,5. En nuestro humedal artificial se mantuvieron entre los 3 meses de caracterización una temperatura de 21°C a 22°C y un pH entre 6 – 7,50, tanto a la entrada y salida del agua residual doméstico, lo cual favoreció a su adaptación y crecimiento de las plantas emergentes sembradas.

Rojas y Carranza (2013) señala que Coliformes Termotolerantes es de 7300NMP/100ml y los parámetros DBO es de 8 850 mg/l, DQO es de 10 730 mg/l, Sólidos totales en suspensión es de 1350 mg/l; así mismo Medina y López (2013) señala DBO₅ varía entre 161 y 97 mg/L y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L. En comparación con nuestro estudio los coliformes termotolerantes tiene una concentración de 972 y 1 607 NMP/100 mL para los Sólidos Totales en Suspensión los

valores oscilan entre 18 y 43 mg/L, la DQO varía entre 132 y 223 mg/L, la DBO₅ varía entre 75 y 122 mg/L, estos resultados son menores a los estudios anteriores.

Pérez et al. (2013), señalan que en un estudio realizado en Cosa Rica con *Cyperus papyrus* mostro una eficiencia de remoción de carga orgánica en porcentajes promedio del 91% para el caso de DBO y 72% para el caso del DQO, así mismo en cuanto a nutrientes, se obtuvo una remoción promedio del 75% para el fosforo soluble y un 73% en solidos totales. Villarroel (2005) después del tratamiento con *Typha angustifolia* se logró remover: 92,49 % de DBO₅, 83,33 % de SST, 99,999 % de coliformes fecales, 99,99% de coliformes totales y 76,52 % de cromo total. En comparación con nuestro estudio nosotros al tercer mes de evaluación obtuvimos una remoción de: Coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90,47%, Demanda Química de Oxígeno de 64,98% y Demanda Bioquímica de Oxígeno de 66,96 %, estos resultados son menores a los estudios anteriores.

CONCLUSIONES

- ❖ Los humedales artificiales de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) al tercer mes de caracterizadas obtuvieron una eficiencia de remoción en: coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90,47%, DQO de 64,98% y DBO₅ de 66,96%, en resumen se puede decir que alcanzó una eficiencia del 64% al 90% en todos sus parámetros caracterizados.
- ❖ En este tratamiento se diseñó un humedal artificial subsuperficial vertical con las siguientes medidas: 1,80m de largo, 0,60m de ancho y una profundidad de 0,85m; en la que se usó sustratos como arena, tierra negra, grava fina y grava media para que las plantas de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) obtengan una mejor depuración de las aguas residuales domésticas y por ende mayor remoción de los parámetros caracterizados; además se colocó sistema de distribución, sistema de drenaje o recolección y ventilación en base del humedal artificial con el objetivo de incrementar la cantidad de oxígeno en el humedal artificial.
- ❖ Los resultados de la caracterización de las aguas residuales domésticas provenientes de la Ladrillera Montalván Hermanos fueron: del afluente en cuanto a los coliformes termotolerantes los valores están entre 5 473 y 5 611 NMP/100 mL, para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 185 y 193 mg/L, la DQO varía entre 374 y 381 mg/L, la DBO₅ varía entre 223 y 250 mg/L una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, y un pH entre 6 y 6,5; y finalmente de los efluentes fueron en cuanto a los coliformes termotolerantes los valores están entre 972 y 1 607 NMP/100 mL, para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 18 y 43 mg/L, la DQO varía entre 132 y 223 mg/L, la DBO₅ varía entre 75 y 122 mg/L una temperatura que oscila entre 21 y 22 °C, y un pH entre 6,5 y 7,5.
- ❖ Los resultados obtenidos del efluente durante el primer mes y medio de investigación, no cumplieron con los Límites Máximos Permisibles, caso contrario ocurrió en el segundo mes de investigación ya que la remoción de contaminantes del efluente cumplió con todos los parámetros establecidos; estos resultados nos demuestran la efectividad de los humedales construidos como tratamiento de aguas residuales domésticas y confirman el importante rol que cumple la vegetación de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora).

RECOMENDACIONES

- ❖ A la Universidad Nacional de San Martín, se le recomienda la implementación de maestrías, diplomados y programas de estudios con temas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

- ❖ A las Municipalidades, empresas e instituciones públicas y privadas encargadas de velar por el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se les recomienda utilizar humedales artificiales para el tratamiento de dichas aguas, ya que tiene muchas ventajas comparados a otros tratamientos como: gran eficiencia en su funcionamiento, no necesita energía eléctrica, menor costo en su construcción y mantenimiento.

- ❖ A la Ladrillera Montalván se le recomienda seguir monitoreando y realizando su respectivo mantenimiento para el eficaz funcionamiento del humedal artificial y darle un reaprovechamiento para fines de riego de jardines.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

- Calheiros, C. (2007). *Investigación del agua*. Porto, Portugal: Elsevier.
- Cooper, P.; Green, M. y Shutes, R. (1996). *Cañaverales y humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Swindon, Reino Unido: Tauk-Tornisielo.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de Humedales Artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Nelson Antequera Durán.
- Espigares, M. y Pérez, J. (1985) *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada, España: Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones
- García, J. y Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona, España
- Marín, R. (2010). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Córdoba, España: Plateros.
- Novotny, V, Olem, H. (1994) *Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Nutall, P., Boon, G. y Rowell, M. (1997). *Revisión del diseño y manejo de humedales construidos*. Ciria, España.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. 3 ed.* Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Conferencias

García, J., Bayona, J. & Morató J. (2004). Depuración con sistemas naturales: humedales construidos. Ponencia presentada en el IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa, España.

Revistas online

Gómez, R., Suárez, M. y Vidal, M. (2001). Un sistema multietapa de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales Semiárida de España. *Elsevier*. Recuperado de http://servbiob.inf.um.es/grupoeac/articulos/Gomez_et_al_2001_1.pdf

Llagas, W. y Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Instituto de Investigaciones*. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf

Peña, M., Van, M. y Madera, C., (2011). Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. *Ingeniería y Competitividad*. Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/viewFile/1610/1965>

Pérez, R., Alfaro, C., Sasa, J. y Agüero, J. (Junio del 2013). Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Uniciencia*. Recuperado de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/9044/10574>

Pérez, M. y Rojo, C. (2000). Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos. *Sehumed*. Recuperado de http://www.sehumed.es/banco/archivos/SEHUMED_colecc115.PDF

Torres, J., Magno, J. Pineda, R. y Cruz, M. (Junio del 2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en

Carapongo - Lurigancho. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, Recuperado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/410-2081-1-PB%20(1).pdf.

Informes

Ministerio del Ambiente. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010/MINAM. Decreto que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales Lima-Perú. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

United States Environmental Protection Agency (Setiembre de 2000). Humedales de flujo libre superficial. Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency (1988). Humedales de flujo libre superficial. Washington, D.C.

Tesis

Baca, M. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona* (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Callao, Callao.

Cueva, E. y Rivadeneira, F. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo.

Flores, M. (2014). *Aplicación del humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas domésticas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba.

- García, D. y Leal, D. (2006). *Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del Parque Nacional Natural Amayacu-Amazonas* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá.
- García, J. (2016). *Estudio de la reducción de carga nutriente en aguas de baja calidad por medio de plantas acuáticas sin suelo* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Medina F. y López E. (2014). *Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el Barranco del Sector de Uchuglla, de la Ciudad de Moyobamba 2013* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. Moyobamba.
- Lahora A. (1999). *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la edad de los gallardos* (Tesis de pregrado). Universidad de Almería, España.
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Patiño, J. y Zhinin, F. (2011). *Estudio comparativo de la capacidad depuradora de phragmites australis y cyperus papyrus en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el Cantón Santa Isabel* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Rodríguez, M. y García, K. (2012). *Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba.
- Rojas, C. y Carranza, D. (2013). *Evaluación de la variación de los parámetros para agua residual doméstica, en la interacción de macrofitas en una laguna de oxidación* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Soritor.

- Romero, M., Colín, A. Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
- Rubio D. y Paez J. (2009). *Evaluación del comportamiento de los parámetros involucrados en la remoción de cinc en humedales artificiales verticales* (Tesis de Pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá.
- Trujillo, G. (2012). *Comparando y evaluando tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Villaruel, C. (2005) *Tratamiento Terciario Del Efluente De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales El Cortijo Para Uso Agrícola Con Humedales Construidos De Flujo Superficial* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional De Trujillo, Lima.

ANEXOS

Anexo 1: Fórmulas Estadísticas

- **Media:**

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Media

$\sum X_i$ = Sumatoria de todas las muestras

n = Muestra

- **Desviación Estándar:**

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

Donde:

S = Desviación Estándar

$\sum X_i^2$ = Suma de los cuadrados de cada muestra

$(\sum X_i)^2$ = Suma de las muestras elevadas al cuadrado

n = Muestra

- **Coficiente de variación:**

$$C.V. = \frac{S}{|\bar{x}|} \times 100\%$$

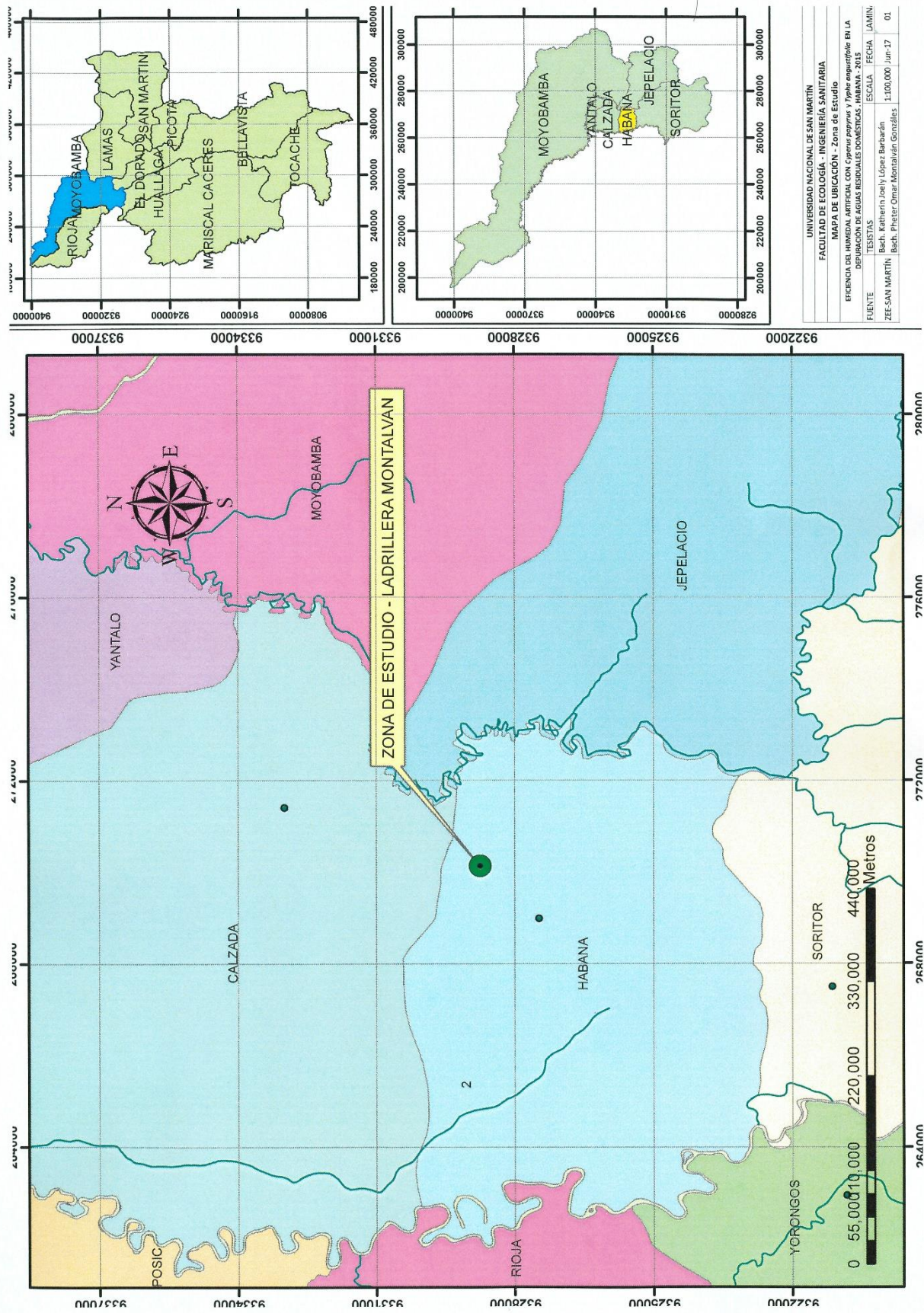
Donde:

C.V. = Coeficiente de variación

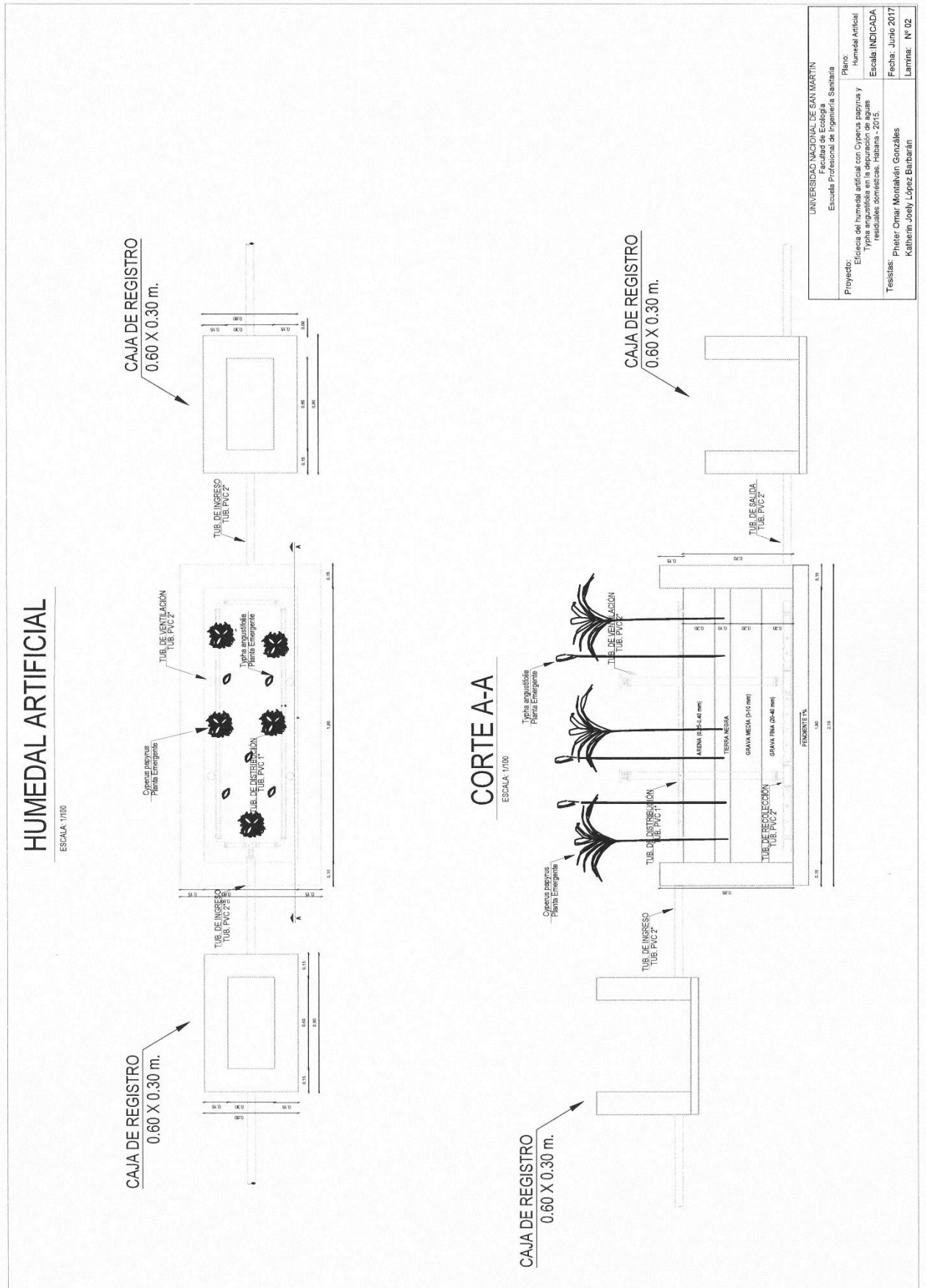
S = Desviación Estándar

\bar{X} = Media

Anexo 2: Mapa de Ubicación



Anexo 3: Diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria	Plano: Humedal Artificial
Proyecto: Estrategia del humedal artificial con <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Typha angustifolia</i> en la depuración de aguas residuales domésticas. Habana - 2015.	Escuela INDICADA
Testistas: Pieter Omar Montalván Gonzáles Katherine Jobly López Barbarán	Fecha: Junio 2017 Lamina: N° 02

Anexo 4: Ficha Técnica

FICHA TÉCNICA

PARÁMETRO	UNIDAD	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL												
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L												
DQO	mg/L												
DBO ₅	mg/L												
Temperatura	°C												
pH	Potencial de Hidrógeno												

Anexo 5: Metrados

PLANILLA DE METRADOS

PROYECTO DE TESIS : "Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas. Habana - 2015"

UBICACIÓN : Habana - Moyobamba – San Martín

CÓDIGO DE PARTIDA	DESCRIPCIÓN DE LA PARTIDA	MEDIDAS					Total	Unidad
		Cantidad	Largo	Ancho	Altura	Sub Total		
01.00	CONSTRUCCIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL							
01.01	OBRAS PRELIMINARES							
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	1.00	2.10	0.90		1.89	1.89	M2
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL	1.00	2.10	0.90		1.89	1.89	M2
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
01.02.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA	1.00	2.10	0.90	0.95	1.80	1.80	M3
01.03	SOLADO							
01.03.01	SOLADO	1.00	2.10	0.90	0.10	0.19	0.19	M2
01.04	MURO							
01.04.01	MURO DE LADRILLO EN EL LARGO	2.00	1.80		0.85	3.06	3.06	M2
01.04.02	MURO DE LADRILLO EN EL ANCHO	2.00		0.60	0.85	1.02	1.02	M2
01.05	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERIAS							
01.05.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PVC 1"	2.00				2.00	2.00	UND
01.05.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN PVC 2"	2.00				2.00	2.00	UND
01.05.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN PVC 2"	2.00				2.00	2.00	UND
01.06	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS							
01.06.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PVC 1"							
01.06.01.01	REDUCCIÓN DE 2" A 1"	1.00				1.00	1.00	UND
01.06.01.02	TEE DE 1"	1.00				1.00	1.00	UND
01.06.01.03	CODO DE 90° 1"	4.00				4.00	4.00	UND
01.06.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN PVC 2"							
01.06.02.01	TEE DE 2"	1.00				1.00	1.00	UND
01.06.02.02	CODOS DE 90° 2"	4.00				4.00	4.00	UND
01.06.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN PVC 2"							
01.06.03.01	TEE DE 2"	4.00				4.00	4.00	UND
01.06.03.02	TECHOS CHINOS DE 2"	4.00				4.00	4.00	UND
01.07	SUMINISTRO DE SUSTRATO							
01.07.01	ARENA (025-0.40 mm)	1.00	1.60	0.80	0.20	0.26	0.26	UND
01.07.02	GRAVA MEDIA (3-10 mm)	1.00	1.60	0.80	0.20	0.26	0.26	UND
01.07.03	GRAVA FINA (20-40 mm)	1.00	1.60	0.80	0.20	0.26	0.26	UND
02.00	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE AGUA							

02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
02.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA ANTES Y DESPUES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	2.00	0.90	0.60	0.65	0.70	0.70	M3
02.02	SOLADO							
02.02.01	SOLADO ANTES Y DESPUES DEL HUMEDAL	2.00	0.90	0.60	0.05	0.05	0.05	M2
02.03	MURO							
02.03.01	MURO DE LADRILLO EN EL LARGO	2.00	0.60		0.60	0.72	0.72	M2
02.03.02	MURO DE LADRILLO EN EL ANCHO	2.00		0.30	0.60	0.36	0.36	M2
02.04	TAPAS DE CAJAS DE REGISTRO							
02.04.01	TAPAS DE CONCRETO 0.90 M x 0.60 M	2.00				2.00	2.00	UND
03.00	ANÁLISIS DE MUESTRAS							
03.01	PARÁMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES	12.00				12.00	12.00	UND
03.02	PARÁMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	12.00				12.00	12.00	UND
03.03	PARÁMETRO SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	12.00				12.00	12.00	UND
03.04	PARÁMETRO DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	12.00				12.00	12.00	UND
03.05	PARÁMETRO TEMPERATURA	12.00				12.00	12.00	UND
03.06	PARÁMETRO pH	12.00				12.00	12.00	UND

Anexo 6: Presupuesto para la construcción del humedal

PRESUPUESTO

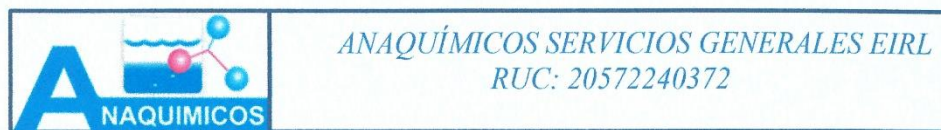
PROYECTO DE TESIS : "Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas. Habana - 2015"

UBICACIÓN : Habana - Moyobamba – San Martín

CÓDIGO DE PARTIDA	DESCRIPCIÓN DE LA PARTIDA	UNIDAD	TOTAL	PRECIO	PARCIAL
01.00	CONSTRUCCIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL				
01.01	OBRAS PRELIMINARES				
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	M2	1.89	7.56	14.29
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL	M2	1.89	14.42	27.25
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.02.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA	M3	1.80	24.96	44.82
01.03	SOLADO				
01.03.01	SOLADO	M2	0.19	33.00	6.24
01.04	MURO				
01.04.01	MURO DE LADRILLO EN EL LARGO	M2	3.06	112.00	342.72
01.04.02	MURO DE LADRILLO EN EL ANCHO	M2	1.02	112.00	114.24
01.05	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERIAS				
01.05.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PVC 1"	UND	2.00	17.00	34.00
01.05.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN PVC 2"	UND	2.00	42.00	84.00
01.05.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN PVC 2"	UND	2.00	42.00	84.00
01.06	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS				
01.06.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PVC 1"				
01.06.01.01	REDUCCIÓN DE 2" A 1"	UND	1.00	8.00	8.00
01.06.01.02	TEE DE 1"	UND	1.00	4.00	4.00
01.06.01.03	CODO DE 90° 1"	UND	4.00	3.00	12.00
01.06.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN PVC 2"				
01.06.02.01	TEE DE 2"	UND	1.00	11.00	11.00
01.06.02.02	CODOS DE 90° 2"	UND	4.00	8.00	32.00
01.06.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN PVC 2"				
01.06.03.01	TEE DE 2"	UND	4.00	11.00	44.00
01.06.03.02	TECHOS CHINOS DE 2"	UND	4.00	4.00	16.00
01.07	SUMINISTRO DE SUSTRATO				
01.07.01	ARENA (025-0.40 mm)	UND	0.26	60.00	15.36
01.07.02	GRAVA MEDIA (3-10 mm)	UND	0.26	70.00	17.92
01.07.03	GRAVA FINA (20-40 mm)	UND	0.26	60.00	15.36
02.00	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE AGUA				
02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				

02.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA ANTES Y DESPUES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	M3	0.70	24.96	17.52
02.02	SOLADO				
02.02.01	SOLADO ANTES Y DESPUES DEL HUMEDAL	M2	0.05	33.00	1.78
02.03	MURO				
02.03.01	MURO DE LADRILLO EN EL LARGO	M2	0.72	112.00	80.64
02.03.02	MURO DE LADRILLO EN EL ANCHO	M2	0.36	112.00	40.32
02.04	TAPAS DE CAJAS DE REGISTRO				
02.04.01	TAPAS DE CONCRETO 0.90 M x 0.60 M	UND	2.00	30.00	60.00
03.00	ANÁLISIS DE MUESTRAS				
03.01	PARÁMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UND	12.00	90.00	1,080.00
03.02	PARÁMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	UND	12.00	100.00	1,200.00
03.03	PARÁMETRO SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	UND	12.00	90.00	1,080.00
03.04	PARÁMETRO DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	UND	12.00	100.00	1,200.00
03.05	PARÁMETRO TEMPERATURA	UND	12.00	30.00	360.00
03.06	PARÁMETRO pH	UND	12.00	40.00	480.00
TOTAL S/.					6,527.46

Anexo 7: Caracterización de los parámetros



INFORME N° 185-2016/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
 KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN
PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
 y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
 residuales domésticas. Habana – 2015.
TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica
PUNTO DE MUESTREO : Afluente
SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana
COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 15-12-2016
HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M
MUESTREADO POR : Cliente
FECHA DE EMISIÓN : 23-12-2016

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,32	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,3	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	192	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 473	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	380	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	245	100



ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

 Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140674
 TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 186-2016/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 15-12-2016

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 23-12-2016

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,90	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,5	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	43	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 607	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	223	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	122	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez
CIP N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 020-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Afluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 30-12-2016

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 07-01-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,20	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,7	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	187	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 615	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	374	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	223	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE

INFORME N° 021-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 30-12-2016

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 07-01-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	7,00	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,6	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	38	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 423	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	201	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	115	100



ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

 Ing. Samyel López Chávez
 CIP. N° 140674
 TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 028-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Afluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 14-01-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 23-01-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,43	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,4	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	190	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 526	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	376	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	236	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 029-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 14-01-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 23-01-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,93	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,4	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	33	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 341	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	186	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	107	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 440674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 033-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Afluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 29-01-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 06-02-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,15	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,3	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	193	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 572	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	381	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	250	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez

CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 034-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 29-01-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 06-02-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	7,15	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,4	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	29	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 193	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	169	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	92	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

Ing. Samuel López Chávez

CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 036-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Afluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 13-02-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 21-02-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,42	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,5	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	185	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 507	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	378	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	239	100

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

 Ing. Samuel López Chávez
 CIP. N° 140674
 TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 037-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 13-02-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 21-02-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	7,50	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,3	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	23	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 008	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	153	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	83	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
Ing. Samuel López Chávez
CIP. N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 042-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Afluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 28-02-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 08-03-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	6,37	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	22,3	< 35
LABORATORIO			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	189	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	5 569	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	377	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	227	100

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

 Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140674
 TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.
RUC: 20572240372

INFORME N° 043-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : PHETER OMAR MONTALVÁN GONZALES
KATHERIN JOELY LÓPEZ BARBARÁN

PROYECTO : Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus*
y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas
residuales domésticas. Habana – 2015.

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual Doméstica

PUNTO DE MUESTREO : Efluente

SECTOR : Ladrillera Montalván - Distrito de Habana

COORDENADAS : UTM 270140.83 m E 9328750.20 m S

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 28-02-2017

HORA TOMA DE MUESTRA : 7:30 A.M

MUESTREADO POR : Cliente

FECHA DE EMISIÓN : 08-03-2017

PARAMETROS	UNIDAD	Resultados Obtenidos	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de fecha 17.03.2010)
IN SITU			
pH	Potencial de Hidrógeno	7,23	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	21,4	< 35
LABORATORIO *			
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	18	150
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	972	10 000
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L	132	200
Demanda Bioquímico de Oxígeno	mg/L	75	100



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE

Anexo 8: Panel fotográfico

Foto N° 01: Trazos para el humedal artificial.



Foto N° 02: Inicio de la excavación de zanja para el humedal artificial.



Foto N° 03: Finalización de la excavación de zanja para el humedal artificial.



Foto N° 04: Construcción de las paredes del humedal artificial.



Foto N° 05: Colocación del sistema de drenaje o recolección y ventilación.



Foto N° 06: Colocación de grava en el humedal artificial.



Foto N° 07: Colocación de tierra negra en el humedal artificial.



Foto N° 08: Recolección de *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia*.



Foto N° 09: Siembra del *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en el humedal artificial.



Foto N° 10: Colocación de arena en el humedal artificial.



Foto N° 11: Instalación de tuberías de conducción de agua residual al humedal artificial.



Foto N° 12: *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* al tercer mes de sembradas.



Foto N° 13: *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* al cuarto mes de sembradas.



Foto N° 14: Construcción de cajas de registro.



Anexo 9: Decreto Supremo N° 003 - 2010 – MINAM, aprueba los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

 NORMAS LEGALES

415675

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

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

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

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

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

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo 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 5°.- Resultados de monitoreo

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

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

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

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

Artículo 7°.- Refrendo

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

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

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

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

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

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

469446-2

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

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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

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

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

SE RESUELVE:

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

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

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

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1