



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS  
MEDIANTE EL USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES  
MEJORADOS CON LAS ESPECIES *Cyperus  
papyrus* y *Phragmites australis*”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Fiorella Andrea Valverde Quispe (0000-0003-2657-5753)

Asesor:

Betty Soledad Peña Orocaja (0000-0002-2766-5542)

Lima - Perú

2021

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 15 de junio del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Blgo. Dámaso Wilfredo Ramírez Huaroto
Miembro: Mg. Ing. Keyla Esther Quispe Basualdo
Miembro: Dra. Ing. Llerme Navarro Vasquez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE EL USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES MEJORADOS CON LAS ESPECIES *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*”**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Fiorella Andrea Valverde Quispe**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Betty Peña Orocaja

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple (X) calificar a:

Tesis: Fiorella Andrea Valverde Quispe			Nota (en letras): (DIECISEIS) 16
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Mg. Blgo. Dámaso Wilfredo Ramírez Huaroto**  
Presidente



Firmado digitalmente por:  
QUISPE BASUALDO Keyla  
Esther FIR 40715083 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 16/06/2022 10:25:46-0500

**Mg. Ing. Keyla Esther Quispe Basualdo**  
Miembro 1



**Dra. Ing. Llerme Navarro Vasquez**  
Miembro 2



**Ing. Betty Peña Orocaja**  
Asesor

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es dedicado especialmente a mi abuelito Pedro Oswaldo Valverde Goicochea quien fue mi guía, mi compañero desde el primer día de clases y quien me impulsó a obtener mi título para que sea la primera nieta titulada, yo sé que estará orgulloso de mí y que lamentablemente no podremos celebrarlo juntos pero desde el cielo sé que me acompañará y estará presente a lo largo de mi vida profesional como personal. Así mismo, este proyecto de tesis no hubiera sido posible sin el apoyo de mi padre Luis Percy Valverde Carlos quien me acompañaba en las amanecidas y me llevaba hasta Pachacamac para posteriormente retornarme a casa y luego ir a trabajar, a mi madre Carmen Rosa Quispe Zuñiga quien me apoyó incondicionalmente a lo largo de mi formación profesional junto con mi tío César Oswaldo Valverde Goicochea, quien siempre me instruyó y me compartió sus conocimientos. A mi hermana Daniela Pierina Valverde Quispe y mi abuelita Yolanda Margarita Granados De Valverde quienes son participes de mis alegrías y quieren verme triunfar en la vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesora académica, la Ing. Betty Peña Orocaja, por su apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo; agradezco a los profesores y compañeros de la universidad UNIVATES por darme la visión de las nuevas tecnologías que se emplean y replicarlo en mi país. Agradezco también a mis colegas del trabajo quienes me brindaron su tiempo para debatir sobre los resultados y me apoyaron facilitándome las herramientas necesarias para el desarrollo de los análisis. Así mismo agradezco a todas aquellas personas que aportaron su granito de arena para que este proyecto se haga realidad.

INDICE GENERAL	
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
INDICE GENERAL	4
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. METODOLOGÍA	11
3. RESULTADOS	20
3.1. Determinación de la eficiencia	20
3.1.1. Parámetros de Campo	20
3.1.1.1. pH	22
3.1.1.2. Conductividad Eléctrica	22
3.1.1.3. Oxígeno Disuelto	22
3.1.1.4. Turbidez	22
3.1.1.5. Temperatura	23
3.1.2. Parámetros de Laboratorio	23
3.1.2.1. Sólidos Totales en Suspensión	24

3.1.2.2. Nitrógeno Amoniacal	24
3.1.2.3. Fósforo Total	24
3.1.2.4. Demanda Química de Oxígeno	24
3.1.2.5 Demanda Biológica de Oxígeno	25
3.1.2.6. Coliformes Termotolerantes	25
3.2. Análisis Estadísticos	25
3.2.1. Parámetros de Campo	25
3.2.2. Parámetros de Laboratorio	27
4. DISCUSIÓN	29
5. CONCLUSIÓN	31
5. RECOMENDACIÓN	32
6. AGRADECIMIENTOS	33
7. BIBLIOGRAFIA	33
45	
I. ANEXOS	46
1. Evidencia del envío a revista científica (Carta o e mail de envío tras aprobar la revisión académica)	46

2. Copia de carta de aprobación académica (Carrera) Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista) 47
3. Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera) 48
4. Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad (son los documentos, normas, estándares, etc relevantes para la tesis, análisis de laboratorio, permisos entre otros) 49

## RESUMEN

La polución del agua es ocasionada por efectos adversos siendo los factores antropogénicos los más contaminantes que los naturales. Los antropogénicos son causados por las aguas residuales derivadas de diversas actividades industriales, agrícolas y domésticas. Las aguas residuales presentan el problema en el 0,01% de su composición (sólidos suspendidos, disueltos y coloidales). Se aplican tratamientos convencionales como no convencionales (humedales artificiales); siendo las últimas un ejemplo de eco tecnología que se asemeja a un humedal natural. El objetivo de esta investigación es evaluar la eficiencia de cuatro prototipos de Humedales Artificiales Mejorados (HAM) con el uso de dos especies de macrófitas (*Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*), la misma composición de sustratos, condiciones ambientales con un tiempo de retención hidráulica de 3 días. El HAM 1, no presentó ninguna especie; HAM 2, cuatro individuos de *C. papyrus*; HAM 3, cuatro individuos de *P. australis* y el HAM 4, presentó dos individuos de cada especie. Los resultados obtenidos indicaron que el HAM 4 presentó un mejor desempeño, debido a que obtuvo porcentajes de remoción mayores que los otros prototipos para los parámetros fisicoquímicos. El HAM 3, obtuvo una reducción significativa de hasta un 99.9 % en Coliformes Termotolerantes a comparación del HAM 2 que obtuvo los niveles de remoción más bajos. El HAM 1 presentó porcentajes de remoción bajos en comparación de los demás prototipos disminuyendo su eficiencia. Finalmente, se concluye que la aplicación de los humedales artificiales mejorados para tratamiento de aguas residuales presenta reducciones significativas en los contaminantes del agua a un bajo costo.

**Palabras clave:** Aguas negras, eficacia, macrófitas, manejo de agua, sistema artificial, sustratos.



## ABSTRACT

Water pollution is caused by adverse effects being the anthropogenic factors the more polluting than natural ones. Anthropogens are caused by wastewater derived from various industrial, agricultural and domestic activities. Wastewater presents the problem in 0.01% of its composition (suspended, dissolved and colloidal solids). Conventional and unconventional treatments are applied (artificial wetlands); the latter being an example of eco-technology that resembles a natural wetland. The objective of this research is to evaluate the efficiency of four prototypes of Improved Artificial Wetlands (HAM) with the use of two species of macrophytes (*Cyperus papyrus* and *Phragmites australis*), the same composition of substrates, environmental conditions with a hydraulic retention time of 3 days. HAM 1 did not present any species; HAM 2, four individuals of *C. papyrus*; HAM 3, four individuals of *P. australis* and HAM 4, presented two individuals of each species. The results obtained indicated that HAM 4 presented a better performance, due to the fact that it obtained higher removal percentages than the other prototypes for the physicochemical parameters. HAM 3, obtained a significant reduction of up to 99.9% in Thermotolerant Coliforms compared to HAM 2, which obtained the lowest removal levels. The HAM 1 presented low removal percentages compared to the other prototypes, reducing its efficiency. Finally, it is concluded that the application of improved artificial wetlands for wastewater treatment presents significant reductions in water pollutants at a low cost, promoting the development of new ecosystems.

**Key words:** Sewage, water management, macrophytes, materials, performance, artificial system, substratum.

ARTÍCULO ENVIADO A PUBLICAR

“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE EL USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES MEJORADOS CON LAS ESPECIES *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*”

Fiorella Valverde-Quispe<sup>a</sup> y Betty Peña Orocaja<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

\*Autor de correspondencia: [bpena@cientifica.edu.pe](mailto:bpena@cientifica.edu.pe)

### 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se presenta la constante preocupación por encontrar una solución a los efluentes líquidos provenientes de los diversos usos (Rodríguez, 2017). A nivel mundial son liberadas al año 2 212 km<sup>3</sup> de aguas residuales como descargas industriales, municipales y agrícolas (UNESCO, 2017a). Debido a que el agua se está deteriorando, es necesario manejarla de la forma apropiada debido a que es un recurso natural indispensable para el sustento y el desarrollo de la vida (UNESCO, 2017b; Fernández, 2012; Romero-Aguilar et al., 2009). El deterioro de la calidad del agua hace referencia a la pérdida de utilidad; ya que, se puede tener acceso a ella, pero no se encuentra en las condiciones de calidad necesarias para determinado uso (Guzmán et

al., 2015; Monforte & Cantú, 2009). Según la Organización Mundial de la Salud (2017), 2 100 millones de personas carecen de agua gestionada de forma segura (agua potable) y 159 millones que aún, beben agua no tratada de fuentes como arroyos o lagos.

Se tiene registrado que en Latinoamérica el 70% de aguas residuales vuelve a los cuerpos hídricos sin tratamiento previo (Yee-Batista, 2013). En el Perú, son 308 208 miles de m<sup>3</sup> de descargas de aguas residuales domésticas registradas sin tratamiento (INEI, 2017). Y solo el 30% de la inversión pública se ha empleado para tratamiento de agua al año 2015 (Larios-Meño et al., 2015). Las 50 empresas prestadoras de servicio de saneamiento alcanzan a encubrir al 69,65%, de la población urbana con el servicio de alcantarillado; conllevando así a que el restante de población vierta sus aguas residuales de manera directa a los cuerpos hídricos (OEFA, 2017). En el ámbito rural, la población con la falta de acceso al saneamiento básico se elevó al 82,5%; lo cual origina la presencia de enfermedades (INEI, 2018; González et al., 2014).

Una de las enfermedades causadas por el agua contaminada es la diarrea crónica siendo la tercera causa de muerte de niños menores de cinco años, estimándose que más de 340 000 niños mueren anualmente a causa de esta enfermedad como resultado de un saneamiento deficiente (Cabezas, 2018; OMS, 2004).

Así también, otros efectos producidos son la degradación de ecosistemas; desde 1970 el estado de salud de la biodiversidad se ha disminuido en 30% (ONU, 2015); y de las poblaciones de agua dulce se han reducido en un 83% (WWF, 2018). Además, la

contaminación del agua con floración de algas nocivas se pretende aumentará en 20% para el 2050 (UNESCO, 2017a); con pérdida de la reserva de proteínas de los peces, olores desagradables (UNESCO, 2017a; Larios-Meño et al., 2015; Fernández, 2012), incremento de la temperatura de los océanos en un 0,1°C (NatGeo, 2010), entre otras.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la aplicación de los Humedales Artificiales Mejorados (HAM) con las especies *C. papyrus* y *P. australis* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, cuya importancia se basó en aplicar una tecnología sostenible y eficiente para la depuración de aguas residuales que permita mantener la calidad del agua y de esa manera reducir la contaminación del recurso hídrico, el cual es fuente de vida y desarrollo para el planeta.

## 2. METODOLOGÍA

### *2.1. Lugar de estudio*

Se utilizaron las aguas residuales domésticas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) José Gálvez – Villa María del Triunfo en donde se tienen lagunas de oxidación con un área de 7,3 ha, un caudal de 100 l/s y un Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de diseño de 250 mg/l; siendo tratados mediante un sistema Anaerobio-Aerobio con fines de uso de efluente para riego de áreas verdes (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL, 2019).

Las aguas residuales domésticas después de pasar el primer tratamiento en las lagunas de oxidación fueron recolectadas en un canal (18L 0294178 E / 8645584 N) que tiene desembocadura en las aguas del río Lurín, ubicada en la zona Julio C. Tello perteneciente al distrito de Lurín, Lima, Perú. Siendo aplicada la técnica de HAM como tratamiento secundario para las aguas mencionadas. Los datos meteorológicos fueron tomados del punto de monitoreo para Lima Oeste; las cuales son para el mes de febrero, temperaturas altas (26,5 °C); en los meses de agosto y septiembre, las más bajas (14,6 °C); el mes de julio mayor intensidad de lluvias (1,8 mm/mes; Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, 2019). Los HAM fueron trabajados en un terreno (18L 0296699 E / 8647933 N) localizado a aproximadamente 8 km del punto de muestreo.

## *2.2. Recolección y caracterización de efluentes iniciales*

El muestreo realizado fue simple, recogido manualmente en horario diurno (06:00 horas) con un total de 176 L de los cuales 4 L fueron para envío al laboratorio y 43 L para utilizar en cada HAM, esto fue repetido por cada recolección realizada (siete tomas puntuales). El uso de indumentaria de protección fue indispensable para evitar contacto y alteración en la muestra. Se utilizaron envases de vidrio de capacidad de 300 mL para análisis microbiológico, previamente desinfectados y rotulados para trasladar la muestra con ayuda de un contenedor hermético (Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA, 2007) al laboratorio. Para los análisis fisicoquímicos, se hizo uso de envases

de primer uso de material plástico, fueron preservados y transportados junto con los frascos para análisis microbiológico (Figura 1).



Figura 1. Envases de plástico y vidrio codificados según el HAM correspondiente.

Se realizaron siete recolectas del efluente inicial con un intervalo de tres días cada una; de las cuales solo fueron enviadas al laboratorio NSF INASSA S.A.C.; la primera, cuarta y séptima recolecta (#1, #4 y #7) para analizar los parámetros microbiológicos (coliformes fecales y termotolerantes). No obstante, se registraron para todas las recolectas parámetros *in situ* como la temperatura del ambiente, del efluente, olor, color, pH, turbidez, conductividad eléctrica (CE) y el oxígeno disuelto (OD). Así también, se analizaron los parámetros *ex situ* de sólidos totales en suspensión, DBO<sub>5</sub>, demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno amoniacal en el laboratorio de Físicoquímica ubicado dentro de las instalaciones de NSF INASSA S.A.C., tomando en cuenta que los métodos utilizados por cada parámetro se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Método de ensayo por parámetro evaluado en Laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO
Sólidos Totales en Suspensión	SM 2540.D
DBO5	SM 5210.B
DQO	EPA 410.1
Fósforo Total	EPA 365.3
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500 NH3-F

Fuente: Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

### 2.3. Caracterización de los sustratos

La arena y grava fueron extraídas de la zona del río Lurín donde se realizó la recolecta del efluente inicial mientras que el resto de sustratos fueron adquiridos en el vivero Grupo Ambiental. Para el caso de las gravas se recolectaron y fueron tamizadas con ayuda de mallas raschel para obtener gravas finas (16 mm) y gravas medias (32 mm). Se tiene detallado en la Tabla 2, datos de porosidad para los sustratos que fueron empleados en la construcción. El espacio poroso es la parte que puede estar ocupado por agua o aire (Flores & Alcalá, 2010).

### 2.4. Construcción de los HAM

Los prototipos de HAM fueron construidos en cajas plásticas impermeables de 133 L cada una. Las dimensiones de las cuatro cajas fueron de 74 cm (largo), 36 cm (ancho), 50 cm (alto), con un área superficial de 0,2664 m<sup>2</sup> y un volumen útil de 43 L. Se les realizó a las cuatro cajas, un orificio en la parte inferior donde se colocó un buje de reducción

de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  por el lado interno y la llave de paso  $\frac{1}{2}$  por el lado externo hasta encajar por completo las dos piezas. Con ayuda de la cinta teflón se envolvió la intersección de las piezas por ambos lados para evitar fugas del efluente de los sistemas. La instalación de la llave de paso se dio a fin de facilitar la extracción del efluente tratado. Así mismo, se colocaron unas tablas para conseguir una inclinación del 1%.

Se empleó como sustrato para la construcción de los HAM: arlita (5 cm), vermiculita (5 cm), roca volcánica (9 cm), grava fina (9 cm), grava media (10 cm) y arena de río (2 cm); en orden descendente (Figura 2). Se dejó 10 cm de espacio libre en la parte superior por seguridad en cada HAM. El uso de la arena de río fue escogido debido a que actúa como filtro natural, reteniendo impurezas y ayuda en la remoción de DQO (Badillo, 2016; Quipuzco, 2002), la arlita o arcilla expandida contribuyó a la eliminación del fósforo (Romero-Aguilar, 2009), la vermiculita fue utilizada debido a la alta capacidad de intercambio catiónico que presenta (Salati et al., 2009), la roca volcánica es altamente porosa lo cual ayudó en la retención de los contaminantes en el agua (Romero-Aguilar et al., 2009), como en el soporte para el desarrollo microbiano (Antón, 2016) y las gravas fueron utilizadas para mayor retención de sólidos (Navarro et al., 2013).



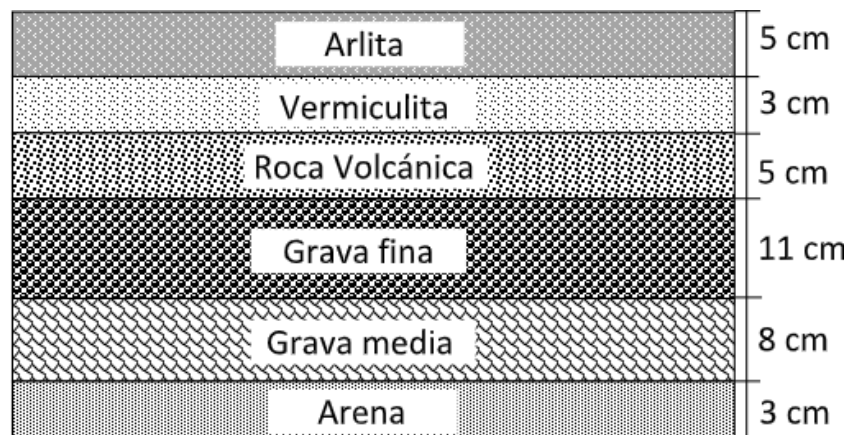


Figura 2: Distribución de los sustratos para los HAM.

### 2.5. Macrófitas acuáticas

Las especies de macrófitas utilizadas en esta investigación son plantas emergentes (*C. papyrus* y *P. Australis*), las cuales presentan el desarrollo de la porción basal bajo la superficie del agua y sus estructuras reproductivas en el ambiente aéreo (Ramos et al., 2013). La especie *C. papyrus* fue adquirida como plántula previamente cultivada en el vivero Marcia ubicado en la Avenida Tomás del Valle del distrito de Lurín y la especie *P. Australis*, fue colectada en el terreno aledaño al punto de trabajo (propiedad privada).

Las plantas fueron colocadas después de adicionar la arena de río en los HAM respectivos y posteriormente se continuó con la adición de los demás sustratos. Así, para la adaptación de las plantas al sistema, se regó con el efluente diluido en agua según se detalla en la Tabla 2, hasta lograr la concentración total del efluente. Esto se realizó por

un periodo de tres semanas con un cambio de agua cada tres días. Durante este periodo, se evaluó el desarrollo de las plantas y se realizó seguimiento del efluente obtenido.

Tabla 2. Concentración de agua y efluente para adaptación de las plantas

	Semana 1		Semana 2		Semana 3	
	Día 1	Día 5	Día 9	Día 13	Día 17	Día 21
Agua (%)	90	30	50	20	10	-
Efluente (%)	10	70	50	80	90	100

### 2.6. Funcionamiento de los HAM

Se realizaron cuatro prototipos de HAM a escala piloto; el primero (HAM 1), fue nuestro control donde no se colocó ninguna especie; el segundo (HAM 2), presentó la especie *C. papyrus* (cuatro individuos); el tercero (HAM 3), la especie *P. australis* (cuatro individuos) y el cuarto (HAM 4), fue mixta donde la mitad de población era de *C. papyrus* y la otra de *P. australis* (dos individuos de cada especie; figura 3). El número de individuos considerados para cada HAM fue basado en las características presentadas en la Tabla N° 3.

Tabla 3. Características de las especies *C. papyrus* y *P. australis*

<b>Especie</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Penetración de raíces (cm)</b>	<b>No. De plantas / m<sup>2</sup></b>
Bulrush	<i>Cyperus papyrus</i>	Papiro	76	2 a 4
Reed	<i>Phragmites Australis</i>	Carrizo	60 - 76	2 a 4

Fuente: Peña et al. (2003)

Cabe resaltar que el periodo de tiempo en el que operaron los HAM fue de 21 días y que para todos los prototipos se consideraron las mismas condiciones ambientales, tiempo de retención hidráulica (TRH; 3 días), volumen de efluente inicial (43 L), recolecta de muestras, sustratos y dimensiones.

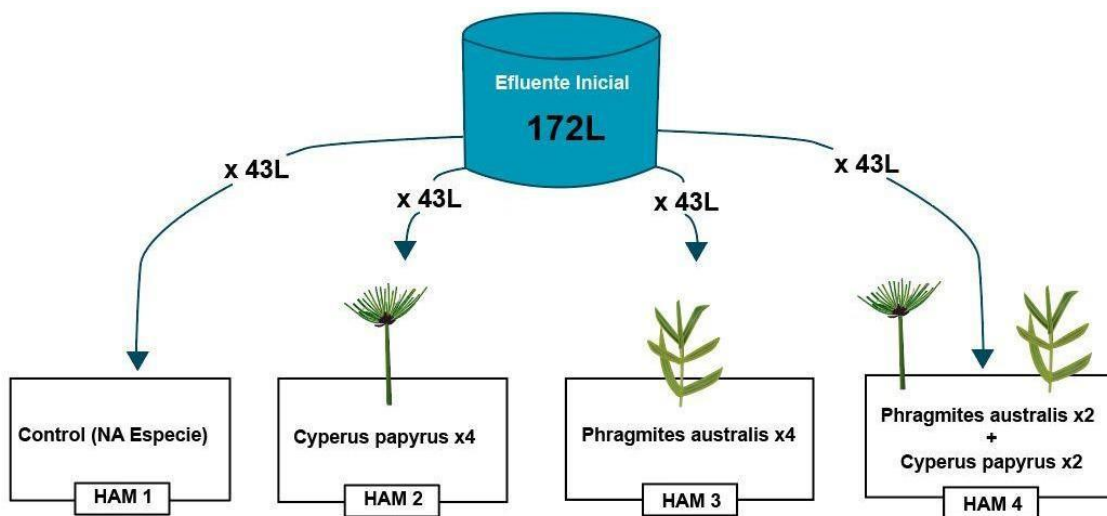


Figura 3: Diseño Experimental de los prototipos de HAM.

### 2.7. Recolección y caracterización de efluentes tratados

Las muestras de los efluentes tratados por los HAM fueron recopiladas con la ayuda de las llaves de paso que están instaladas en cada sistema, después de los tres días de TRH (72 horas de permanencia en el sistema) por un periodo de 21 días, siendo recolectadas y caracterizadas de igual manera que los efluentes iniciales. En cuanto a los análisis en el laboratorio NSF INASSA SAC, se enviaron un total de 12 muestras de efluentes

tratados por cada parámetro durante el tiempo que duró la evaluación; tres por cada HAM (resultado de los efluentes iniciales #1, #4 y #7).

### *2.8. Análisis Estadísticos*

Se realizó el análisis estadístico con el software IBM SPSS versión 24.0; a un nivel de confianza de 95 %. Se determinó la normalidad de los datos haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Homogeneidad de Varianzas por el test de Levene, así como la Prueba ANOVA de una sola vía; y se determinó realizar una prueba de comparaciones múltiples (Tukey) entre los tratamientos para evaluar si hay diferencias significativas.

### *2.9. Aplicación de la Normativa*

Los resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de los efluentes tratados han sido comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. 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/100mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: MINAM (2010)

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación de la eficiencia

Se determinó la eficiencia a partir de los resultados obtenidos por cada humedal para los parámetros analizados en campo y laboratorio. Así mismo, se realizó la comparación entre los datos obtenidos del efluente inicial con el efluente tratado; y el último con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

##### 3.1.1. Parámetros de Campo

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados en campo se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de Parámetros analizados en Campo

	pH	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)
1° Efluente	6.87	3.57	0.57	8.86	18.60
1° HAM 1	7.64	4.14	5.21	8.91	19.10
1° HAM 2	7.17	3.98	3.47	10.00	18.80
1° HAM 3	7.10	4.00	5.00	8.96	18.70
1° HAM 4	7.05	3.60	4.12	9.00	18.80
2° Efluente	7.38	3.77	0.34	9.50	18.50
2° HAM 1	7.73	4.17	2.10	8.32	18.80
2° HAM 2	7.41	4.22	1.55	6.25	18.50
2° HAM 3	7.55	3.86	1.96	5.12	18.40
2° HAM 4	7.32	3.86	1.50	4.10	18.10
3° Efluente	7.04	5.02	0.04	14.80	19.30
3° HAM 1	7.32	4.68	1.43	8.00	19.30
3° HAM 2	7.12	4.96	1.17	6.32	19.10
3° HAM 3	7.22	4.77	0.92	4.80	19.10
3° HAM 4	7.15	5.01	1.16	3.60	18.70
4° Efluente	7.30	4.93	0.03	15.90	18.30
4° HAM 1	7.47	5.09	0.77	10.10	19.80
4° HAM 2	7.32	5.05	0.71	7.61	19.10
4° HAM 3	7.38	5.10	0.62	5.09	19.20
4° HAM 4	7.24	4.92	0.78	5.01	19.10
5° Efluente	7.09	3.59	1.80	10.02	23.30
5° HAM 1	7.71	4.03	2.55	2.43	22,5
5° HAM 2	7.55	4.00	2.42	1.38	22,0
5° HAM 3	7.58	4.10	2.30	4.11	21,5
5° HAM 4	7.34	3.45	2.40	3.17	21,6
6° Efluente	9.85	4.23	1.20	3.71	26.90
6° HAM 1	7.48	4.20	2.13	2.38	20.20
6° HAM 2	7.35	4.16	2.10	3.57	19.90
6° HAM 3	7.46	4.05	1.80	4.21	19.70
6° HAM 4	7.29	3.12	2.03	2.01	19.40
7° Efluente	7.19	3.62	0.51	16.00	23.70
7° HAM 1	7.41	3.66	2.91	13.40	19.60
7° HAM 2	7.28	1.81	1.24	8.14	19.50
7° HAM 3	7.45	2.40	1.28	6.29	19.50
7° HAM 4	7.36	2.00	2.04	7.98	19.30

#### 3.1.1.1. pH

Los valores obtenidos de pH durante los siete muestreos realizados a la salida de los prototipos se encontraron dentro del rango establecido por las normativas tanto que el pH más bajo fue de 7.05 (HAM 4, toma #1) y el más alto de 7.73 (HAM 1 toma #2). Sin embargo; realizando la comparación de los resultados, el HAM 4 presentó un mejor rendimiento ya que obtuvo en la mayoría de las ocasiones un valor de pH menor en contraste con el HAM 1, que presentó valores más elevados.

#### 3.1.1.2. Conductividad Eléctrica

La salinidad presentada en el efluente inicial, así como los efluentes tratados fueron de grado ligero a medio. Los resultados obtenidos del efluente del HAM 1 presentaron mayor concentración (4 280 uS/cm) a comparación del HAM 4 que presentó una menor concentración (3 710 uS/cm).

#### 3.1.1.3. Oxígeno Disuelto

El efluente recolectado para el uso en los prototipos presentó un OD entre 0,03 a 1,8 mg/L. Al aplicarse el tratamiento con los HAM, se obtuvo un incremento moderado en los valores consiguiéndose un mejor rendimiento en el HAM 1 que destacó por presentar durante las siete tomas los valores de OD más significativos con respecto al HAM 3 que presentó un incremento bajo.

#### 3.1.1.4. Turbidez

Durante el funcionamiento de los HAM, se registraron datos de turbidez del efluente inicial en un rango de 3,71 NTU (muestra clara) hasta 16 NTU (muestra turbia con

presencia de SSS). Los resultados tomados a la salida del HAM 4 fueron favorables con mayor frecuencia obteniendo porcentajes de remoción de 56,8 %, 75,7 % y 68,5 %.

### 3.1.1.5. Temperatura

Según los LMP para los efluentes de PTAR, la temperatura presentada durante la operatividad de los HAM se encontró dentro de los límites con una mínima de 18,7 °C hasta una máxima de 26,9 °C para los efluentes iniciales y una mínima de 18,1 °C hasta una máxima de 22,5 °C para los efluentes tratados.

### 3.1.2. Parámetros de Laboratorio

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados en laboratorio se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de Parámetros analizados en el Laboratorio

	STS	N-NH3	NH3	DQO	P TOTAL	DBO	Coliformes Termotolerantes
1° Efluente	21.1	2.184	2.6645	103.17	0.4778	27.89	1 100 000
1° HAM 1	11.8	0.968	0.7934	58	0.4345	25	2 300
1° HAM 2	28.7	2.354	1.9295	60	0.8454	26	13 000
1° HAM 3	15	1.037	0.85	59	0.512	24.2	2000
1° HAM 4	22	0.8418	0.69	50	0.495	23	11000
4° Efluente	25	23.32	19.115	760	10.31	356.5	23 000 000
4° HAM 1	22.2	20.18	16.541	424	7.1625	156.8	11 000
4° HAM 2	20.7	20.5	16.803	448	8.525	153.3	33 000
4° HAM 3	15.5	18.62	15.262	440	6.4875	124.5	3 300
4° HAM 4	21.8	19.46	15.951	424	4.31	120	79 000
7° Efluente	13.4	8.779	7.1959	22	11.0675	10.23	1 400 000
7° HAM 1	10.9	4.998	4.0967	14	10.6458	6.88	4 900
7° HAM 2	1.2	5.824	4.7738	16	4.0198	9.33	23 000
7° HAM 3	1.1	6.783	5.5598	15	3.1128	8.65	4 900
7° HAM 4	2	4.104	3.3639	14.5	4.212	6.95	11 000



#### 3.1.2.1. Sólidos Totales en Suspensión

Los valores resultantes de los efluentes tratados para este parámetro se encontraron por debajo de los LMP y presentaron una remoción considerable, destacando la reducción del 92 % de sólidos totales en suspensión en el HAM 3 seguido por el HAM 2 con un 91 %.

#### 3.1.2.2. Nitrógeno Amoniacal

La remoción de nitrógeno en los sistemas fue destacada por el HAM 4 en dos muestreos resultando un porcentaje de remoción de 62 % y 53 %. EL HAM 1, también presentó resultados considerables en comparación a los HAM 2 y HAM 3.

#### 3.1.2.3. Fósforo Total

El fósforo total presentó un porcentaje de remoción en el HAM 3 de 72 %, seguido del HAM 2 (64 %) y HAM 4 (62 %) que obtuvieron resultados considerables. En la primera toma realizada, el HAM 2 presentó un incremento en la concentración de fósforo total siendo una variante entre las otras tomas realizadas para este prototipo que si presentaron una remoción de 17 y 60 %.

#### 3.1.2.4. Demanda Química de Oxígeno

De las tres tomas analizadas sólo una de ellas sobrepasó los LMP establecidos, debido a que la concentración del efluente inicial fue muy elevada. El HAM 4, presentó un

porcentaje de remoción de 52 % marcando una distintiva entre los otros prototipos de HAM que obtuvieron entre 42 a 43 % de remoción.

#### 3.1.2.5 Demanda Biológica de Oxígeno

Los datos de DBO<sub>5</sub> presentados para el primer y tercer (#1, #3) muestreo se encontraron dentro de los LMP. Así mismo, los porcentajes de remoción fueron mayormente favorables para el HAM 4 (66 %), siendo consecutivo por el HAM 3 con 65 %. La menor remoción se generó por el HAM 1 (56%).

#### 3.1.2.6. Coliformes Termotolerantes

En cuanto a los resultados proporcionados por el laboratorio para el parámetro de coliformes termotolerantes se obtuvo que los efluentes iniciales superaban los Límites Máximos Permisibles y que después de la aplicación de los tratamientos por los HAM sólo fueron aptos cuatro efluentes tratados considerando la mayor de la remoción obtenida por el HAM 3 con un porcentaje de remoción de 99,98 %.

### 3.2. Análisis Estadísticos

Los resultados obtenidos a partir del software estadístico IBPM SPSS versión 24.0 son descritos a continuación según los parámetros de campo y laboratorio.

#### 3.2.1. *Parámetros de Campo*

Los datos obtenidos para los parámetros de campo presentaron normalidad y homogeneidad. Se aplicó la prueba ANOVA de una sola vía y se obtuvo para el parámetro

Turbidez que existen diferencias significativas entre tratamientos (F: 4,079; P = 0,009). Se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, obteniendo que la turbidez para HAM 3 y HAM 4 presentó diferencias significativas, en contraste con el efluente inicial. Por lo tanto, con un nivel de significancia del 95% según la prueba Tukey, se afirma que los datos de turbidez obtenidos por el HAM 3 y 4 fueron diferentes de la obtenida para el efluente inicial (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey – Turbidez

**Turbidez**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
HAM 4	6	4,3117	
HAM 3	6	4,9367	
HAM 2	7	6,1814	6,1814
HAM 1	7	7,6486	7,6486
Efluente Inicial	7		11,2557
Sig.		,360	,060

Así mismo, a partir de los resultados obtenidos de la prueba de Tukey se determinó que para el Oxígeno Disuelto se presentan diferencias estadísticamente significativas entre el efluente inicial y el HAM 1 ( $p < 0,05$ ; Tabla 8).

Tabla 8. Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey – Oxígeno Disuelto

**Oxígeno Disuelto**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Efluente Inicial	7	,6414	
HAM 3	6	1,4800	1,4800
HAM 4	6	1,6517	1,6517
HAM 2	7	1,8086	1,8086
HAM 1	7		2,4429
Sig.		,174	,341

### 3.2.2. Parámetros de Laboratorio

Los resultados estadísticos para los parámetros de laboratorio fueron realizados de igual manera que los de campo presentando normalidad y homogeneidad de varianzas para DQO y N-NH<sub>3</sub>, los cuales al aplicar ANOVA no presentaron diferencia significativa (P = 0,964; P = 994).

En cuanto a los demás parámetros, no se presentaron normalidad entre los datos (P < 0.05) para lo cual se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para pruebas no paramétricas con un nivel de significancia del 95% para DBO (sig. Asintót > 0.05), concluyendo que estadísticamente no existen diferencias significativas excepto para Coliformes Termotolerantes (sig. Asintót = 0.044; Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	Sólidos Totales en Suspensión	Fósforo Total	Coliformes Termotolerantes	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Chi-cuadrado	1,103	,692	8,077	,641
gl	3	3	3	3
Sig. asintót.	,776	,875	,044	,887

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Tratamientos

Se aplicó la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre los HAM para el parámetro de coliformes termotolerantes, obteniendo que para el HAM 3 y HAM 4, existen diferencias significativas (Sig. asintót. (bilateral) = 0,046 < 0,05; Tabla 10).

Tabla 10. Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de contraste <sup>a</sup>	
	Coliformes Termotolerantes
U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	6,000
Z	-1,993
Sig. asintót. (bilateral)	,046
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	,100 <sup>b</sup>

a. Variable de agrupación: Tratamientos

b. No corregidos para los empates.

#### 4. DISCUSIÓN

De los datos obtenidos en campo y laboratorio podemos decir que todos los prototipos presentaron un resultado favorable en la mejora de la calidad del efluente inicial. Los resultados de remoción favorables fueron obtenidos debido a los procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollaron en cada uno de los sistemas. En cuanto a los procesos físicos, se considera a la sedimentación y filtración que es posible gracias a los sustratos y a las raíces de las plantas, los cuales sirven como biofiltros permitiendo la adhesión de los contaminantes. En el proceso químico, se da la reacción de oxidación, a través de la adsorción de la materia orgánica por las especies de macrófitas en el HAM. Y en cuanto, al proceso biológico, ocurre debido a los protozoarios adheridos a las raíces de las macrófitas los cuales se alimentan de los contaminantes del agua residual (Alufasi, et al. 2017; Rivera et al., 1995).

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, la DQO presentó la mayor remoción en el HAM 1 (44 %), esto debido a los sustratos presentes en la composición del humedal, resaltando las gravas así como lo menciona Linli (2018) en su trabajo de comparación de sustratos por tamaños para humedales. Para DBO<sub>5</sub>, el HAM 4 sobresalió con una remoción de 66 %. Sin embargo, los resultados de remoción no fueron tan satisfactorios como los presentados por Montoya, et al. (2010), que presentó remociones mayores a 99% para *P. australis*, esto puede ser debido a la poca cantidad de individuos o por la alta cantidad de materia orgánica que al descomponerse aumenta (Torres, et al., 2017).

El HAM 4 resaltó con porcentajes de remoción superior para N-NH<sub>3</sub> (62 %) y P-Total (69 %), considerando que este HAM presenta ambas especies, se puede comprobar la eficiencia de las especies macrófitas en los humedales como un agente depurador ya que se alimentan de estos nutrientes presentes en las aguas obteniendo buenos resultados (Romero-Aguilar, et al., 2009; Torres, 2017). Los sustratos añadidos como la grava, arcilla expandida y sustratos con tamaño de partícula menor aportan también a la depuración de estos contaminantes presentes en las aguas residuales (Romero-Aguilar, et al., 2009; Linli, 2018; Wu, et al., 2014; Navarro, et al., 2013).

Respecto a los coliformes termotolerantes, la mayor remoción se presentó en el HAM 3 (99.9857%), considerando que este prototipo presenta sólo individuos de la especie *P. australis*, se comprueba lo presentado por Quipuzco (2002) que obtuvo porcentajes de remoción de 98% con esta especie al igual que Debska et al. (2015), que registró mejores resultados de remoción de coliformes (96%) al comparar con *Glyceria máxima* (94.4%). En contraste con García-Ávila (2020), los mejores resultados en su investigación fueron obtenidos con la especie *C. papyrus* en comparación de la eficiencia obtenida por la *P. australis* en un 2%, debido a que la especie utilizada en su estudio fue recolectada de la zona y por ende ya estaba adaptada al ambiente. Por otro lado, según Torres (2017) que utilizó ambas especies (*P. australis* y *C. papyrus*) obtuvo una remoción de 89% a comparación del HAM 4 donde se usaron ambas especies, que presentó una remoción de 99.6565%. Esto debido a que el tiempo de retención hidráulica (TRH) considerado

por Torres fue de 1.76 días a diferencia del presente estudio que fue de tres días. Se comprueba que a mayor TRH se puede obtener una mayor reducción de coliformes.

Realizando la comparación con los Límites Máximo Permisible para los efluentes de PTAR, si se consiguieron reducir los agentes microbiológicos, de tal manera que puedan ser menor al rango establecido. Para obtener una reducción de los contaminantes microbiológicos del efluente tratado, se podría optar por la adición de un tratamiento de desinfección tomando como referencia los resultados obtenidos por Cruz, et al. (2005), que hace uso de micro dosificadores que contienen una bolsita de solución clorada, logrando una eficacia de remoción de coliformes del 63.3%.

Otra alternativa es la empleada por Véliz, et al. (2018), que utiliza la radiación ultravioleta para la desinfección y remoción de microorganismos del agua. Sin embargo, contrastando ambos métodos de desinfección como la cloración y la radiación ultravioleta, indica Rojas-Higuera, et al. (2010) que el tratamiento fue más efectivo por la radiación ultravioleta (16 veces más rápido).

## 5. CONCLUSIÓN

El efecto de la aplicación de HAM en los parámetros fisicoquímicos fue favorable en el HAM 4 presentando una alta remoción para los parámetros de DBO, Nitrógeno amoniacal, Fósforo total y para el caso del HAM 3 para los parámetros de STS y Fósforo total.



El efecto de la aplicación de HAM en los parámetros microbiológicos fue favorable en el HAM 3 presentando una remoción significativa en cuanto al parámetro de coliformes termotolerantes.

La especie de macrófita que presentó mejores remociones para el tratamiento de aguas residuales en el presente estudio fue la *P. australis*, destacando por su alta remoción para el parámetro microbiológico y seguido por los parámetros fisicoquímicos.

A pesar de los porcentajes de remoción elevados, los resultados de los efluentes tratados no se lograron mantener dentro del margen de la normativa establecida (LMP), para lo cual se recomendaría el uso de un sistema adicional o complementario para lograr una mayor eficiencia en el sistema.

La implementación de humedales artificiales mejorados (HAM), para el tratamiento de agua residual, presentan una eficiencia alta en los resultados obtenidos de remoción de contaminantes de agua residual; especialmente si se incluyen plantas macrófitas como la *P. australis* y *C. papyrus*, los cuales mejoran los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del agua.

### 5. RECOMENDACIÓN

En caso se considere la replicación y construcción de la eco tecnología presentada en esta investigación, se debería realizar en referencia al prototipo de HAM 4 incluyendo mayor cantidad de individuos de la especie *P. australis* para obtener mejores porcentajes de remoción de contaminantes, a un bajo costo y fomentando el desarrollo

de los hábitats naturales.

Considerando que el humedal trabajado fue de flujo sub superficial, se recomienda que la instalación del punto de salida del efluente se ubique en la zona de la grava, evitando así la salida de los sustratos de menor dimensión (arena).

Se recomienda no utilizar estas aguas residuales tratadas para uso de riego directo debido a que no cumplen con los valores admisibles presentados en la directriz de la Organización Mundial de la Salud – OMS (< 1 000 NMP/mL).

## 6. AGRADECIMIENTOS

El estudio fue realizado gracias al apoyo de mis padres Sr. Luis Percy Valverde Carlos y Sra. Carmen Rosa Quispe Zuñiga. Así mismo, agradezco el apoyo y paciencia brindada por mi asesora Betty Soledad Peña Orocaja, quien me apoyo durante la trayectoria de mi proyecto junto con mis colegas de trabajo del laboratorio NSF INASSA SAC.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Alufasi, R., Gere, J., Chakauya, E., Lebea, P., Parawira, W. & Chingwary, W. (2017). Mechanisms of pathogen removal by macrophytes in constructed wetlands. *Environmental Technology Reviews*, 6 (1), 135–144. <http://dx.doi.org/10.1080/21622515.2017.1325940>

- Antón Antón, D. (2016). *Diseño y puesta en funcionamiento de un humedal artificial a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas contaminadas*. Universidad Miguel Hernández de Elche. [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3584/1/TFG\\_Anton\\_Antón%2C\\_Débora.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3584/1/TFG_Anton_Antón%2C_Débora.pdf)
  
- Atarés Huerta, L. M. (2011). Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro. *Universidad Politècnica de València*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12655>
  
- Aznar Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físico químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
  
- Badillo Guevara, L. P., Carvajal Arias, C. E., Plata Plata, D., & Fernández Calderón, D. F. (2016). Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. *Revista de Tecnología*, ISSN 1692-1399, 15(2), 161–170. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232803>
  
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 309–316. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3761>

- Cruz, M., Arevalo, H., Chamorro, F., Fernandez, F. (2005). Efecto del uso de un método artesanal para el tratamiento de agua en comunidades rurales de la región San Martín, Perú. *Rev. perú. med. exp. salud publica*, 22(2).  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342005000200006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342005000200006)
  
- Debska, A., Jozwiakowski K., Gigizinska-Gorna, Pytka, A., Marzec, M., Sosnowska B. & Pienko A. (2015). The efficiency of pollution removal from domestic wastewater in constructed wetland systems with vertical Flow with common reed and *Glyceria máxima*. *Journal of Ecology*, 16(5), 110-118. DOI: 10.12911/22998993/60464
  
- Deloya-Martínez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha*, 19(2), 31.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835509.pdf>
  
- Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA. (2007). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Lima.  
[http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes\\_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)
  
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.  
Recuperado a partir de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

- Flores Delgadillo, L., & Alcalá Martínez, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. MÉXICO. [http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL DEL LABORATORIO DE FISICA DE SUELOS1.pdf](http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL_DELABORATORIO_DE_FISICA_DE_SUELOS1.pdf)
- García-Ávila (2020). Treatment of municipal wastewater by vertical subsurface flow constructed wetland: Data collection on removal efficiency using *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus*. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2019), 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.04.001>
- Gea, M., Hoyos, D., Iriarte, A., & Lesino, G. (2003). Estudio de la arcilla expandida como relleno de intercambiadores para enfriamiento evaporativo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7(2), 37-42. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/45511/CONICET\\_Digital\\_Nro.6bf84d35-7e15-4fc3-97a8-7a181c94f7e4\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/45511/CONICET_Digital_Nro.6bf84d35-7e15-4fc3-97a8-7a181c94f7e4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 547-556. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342014000300021](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342014000300021)

- Guzmán, B. L., Nava, G., & Dias Bevilacqua, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35(2), 177–190. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
  
- INEI. (2017). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2017*. Lima. [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)
  
- INEI. (2018). *Perú: Formas de acceso a agua y saneamiento básico*. Lima. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_y\\_saneamiento.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf)
  
- InfoAgro. (2019). Tipos de sustratos. 1ª parte. [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustratos.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm)
  
- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3–4), 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>
  
- Lara Borrero, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipios con humedales artificiales*. Politécnica de Cataluña. <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>
  
- Larios-Meño, J. F., González Taranco, C., & Morales Olivares, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 9–25.

<https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

- Linli, Z., Nueva, S., M, W., Xiao, J., Ying, L. (2018). Analizando la comparación de diferentes sustratos y tamaños de partículas de humedales construidos para la purificación de aguas residuales. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30188066>

- Marín, C., Solís, R., López, G., Bautista, R. G. & Romellón, M. J. (2016). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias.*, 5(10). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5612691>

- Monforte García, G., & Cantú Martínez, P. C. (2009). Escenario del agua en México. *Cultura científica y tecnológica.*, 30(6), 31–40. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/356>

- Montoya, J. I., Ceballos, L., Casas, J. C. & Morató, J. (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas. [https://www.researchgate.net/publication/228516061\\_Estudio\\_comparativo\\_de\\_la\\_remocion\\_de\\_materia\\_organica\\_en\\_humedales\\_construidos\\_de\\_flujo\\_horizontal\\_subsuperficial\\_utilizando\\_tres\\_especies\\_de\\_macrofitas](https://www.researchgate.net/publication/228516061_Estudio_comparativo_de_la_remocion_de_materia_organica_en_humedales_construidos_de_flujo_horizontal_subsuperficial_utilizando_tres_especies_de_macrofitas)

- National Geographic - NatGeo. (2010). El aumento de la temperatura del mar.  
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-aumento-de-la-temperatura-del-mar>
  
- Navarro, A. E., García, Y., Vázquez, A., & Marrugo, J. L. (2013). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales del empacado de hortalizas. *Avances en Ciencias e Ingeniería-ISSN*, 4(1), 39–50.  
[http://www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/39](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/39)
  
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental - OEFA. (2017). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
  
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. <http://ggmn.eid.nl/ggmn/GlobalOverview.html>
  
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2004). Agua, saneamiento e higiene: Enfermedades y riesgos. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases-risks/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es/)
  
- Peña Varón, M., Van Ginneken, M., & Madera P, C. (2003). Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. *Ingeniería y Competitividad*, 5(1), 27–35.



<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1548/2/Rev.Ing.> y

Competitividad Vol 5%2C No 1%2CP.27-35%2C2003.pdf

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. (2019). Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

- Quipuzco Ushñahua, L. (2002). Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(10), 52–57.

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v05\\_n10/eval\\_compor.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v05_n10/eval_compor.htm)

- Ramos Montaña, C., Cárdenas-Avella, N. M., & Herrera Martínez, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 4(2), 73–82.

<http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v4n2/v4n2a09.pdf>

- Rivera, F., Warren, A., Ramirez, E., Decamp, O., Bonilla, P., Gallegos, E., Calderón, A. & Trinidad J. (1995). Removal of Pathogens from wastewaters by the root zone method (RZM). *Water and Science Technology*, 32(3), 211-218.

<https://ur.booksc.eu/book/13107624/51862f>

- Robinson, J. (2015). Características de los principales sustratos para la producción protegida de alimentos | Hortalizas. <https://www.hortalizas.com/horticultura->

protegida/en-busca-del-sustrato-ideal/

- Rodríguez Pimentel, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes.

<https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

- Rojas-Higuera, N., Sánchez-Garibello, A., Matiz-Villamil, A., Salcedo-Reyes, J. C., Carrascal-Camacho, A. K. & Pedroza-Rodríguez, A. M. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego. *Universitas. SCIENTARIUM*, 15(2), 139-149.

<http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v15n2/v15n2a05.pdf>

- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, L. (2009).

Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157–167. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>

- Salati Eneas, Salati Filho, E., & Salati, E. (2009). *Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas*. Piracicaba.

<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-wetlands.pdf>

- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL. (2019). *Planta de tratamiento de aguas residuales José Gálvez*.

Lima. [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=089f9c6f-ba63-41c4-a74f-cf26c7eb6640&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=089f9c6f-ba63-41c4-a74f-cf26c7eb6640&groupId=10154)

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2019).

Tiempo/Pronóstico del Tiempo.

[https://www.senamhi.gob.pe/main.php?p=pronostico-  
detalle&dp=lima&localidad=0001](https://www.senamhi.gob.pe/main.php?p=pronostico-detalle&dp=lima&localidad=0001)

- Torres, J., Magno, J., Pineda, R., & Cruz, M. (2017). 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-Lurigancho. Revista de Investigación, Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Vol. 3, No. 2.

<http://dx.doi.org/10.17162/rictd.v1i2.954>

- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. (2017a).

*Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, cifras y datos.*

[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553_spa)

- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. (2017b).

*Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso explotado.* Paris.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

- Vera, I., Jorquera, C., López, D. & Vidal, G. (2016). Humedales construidos para tratamiento y reúso de aguas servidas en Chile: reflexiones.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-)

[24222016000300019](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300019)

- WHO Scientific Group on Health Aspects of Use of Treated Wastewater for Agriculture

and Aquaculture & World Health Organization. (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: informe de un Grupo Científico de la OMS [se reunió en Ginebra del 18 al 23 de noviembre de 1987]. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39333>

- World Wildlife Fund - WWF. (2014). Informe Planeta Vivo 2014 Resumen, 75.

Recuperado a partir de [www.livingplanetindex.org](http://www.livingplanetindex.org)

- Wu, H., Zhang, J., Nao, H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., Fan, J., Liu, H. (2014). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology*, 175 (2015), 594-601.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.068>

- Yee-Batista, C. (2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

I. ANEXOS

1. Evidencia del envío a revista científica (Carta o e mail de envío tras aprobar la revisión académica)

[tca] Acuse de recibo de envío Recibidos x



**Helena Rivas López** <tyca.ojs@gmail.com>  
para mí ▾

21:54 (hace 8 minutos) ☆ ↶ ⋮

Fiorella Valverde Quispe:

Gracias por enviar el manuscrito "EI TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES MEJORADOS CON Cyperus papyrus Y Phragmites australis" a Tecnología y ciencias del agua para posible publicación.

Con nuestro sistema de gestión en línea podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito: <http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/authorDashboard/submission/3387>

Nombre de usuario/a: fvalverde

Quedo a sus órdenes.

Helena Rivas López

-----  
En cumplimiento con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con domicilio en Paseo Cuauhnáhuac número 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, es el responsable del tratamiento de los datos personales que nos proporcione de carácter personal a través de este medio; dichos datos serán protegidos conforme a lo dispuesto por la citada Ley y demás normatividad que resulte aplicable. Se entiende el consentimiento expreso del titular de los datos personales para utilizarlos en actividades propias de su objeto social como lo es la revista *Tecnología y ciencias del agua*. Para mayor información, lo invitamos a consultar el Aviso de Privacidad en nuestro portal <https://www.gob.mx/imita/acciones-y-programas/avisos-de-privacidad-del-imita>

2. Copia de carta de aprobación académica (Carrera) Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista)

**COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD**



**Constancia N° 134-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019**

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **086-2019-PRE11**  
 Título: **Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante uso de humedales artificiales mejorados con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis***  
 Investigador(a): **Fiorella Andrea Valverde Quispe**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (hasta el 11 de mayo del 2021), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 12 de noviembre de 2019

  
 Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreta  
 Presidente  
 Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad



### 3. Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera)



#### RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°170-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 15 de noviembre del 2019

#### VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante uso de humedales artificiales mejorados con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis***, presentado por:

- **Fiorella Andrea Valverde Qulspe**

#### CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los regamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

#### SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante uso de humedales artificiales mejorados con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*** con N° de registro: **086-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Betty Soledad Peña Orocaja** como asesora para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

Tel: (01) 6034007  
rpd@u  
www.cientificadelsur.edu.pe

Campus  
Parurocansur  
Av. 24 - Lima 42

4. Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad (son los documentos, normas, estándares, etc relevantes para la tesis, análisis de laboratorio, permisos entre otros)

**ANEXO 1: Ficha de Evaluación**

FICHA DE EVALUACIÓN EN CAMPO										
Muestra	Fecha	Hora	pH	CE	OD	Turbidez	Color	T. Ambiente	T. Muestra	Observaciones



## ANEXO 2: Certificado de Calibración del Potenciómetro

Green Group Perú

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC- 019

*Certificado de Calibración*

LA-417-2021

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro N° LC -019

Pág. 1 de 1

- 1 Cliente : NSF INASSA S.A.C.
- 2 Dirección : Av. La Marina 3035 Urb. Maranga - San Miguel
- 3 Datos del Instrumento
- |                         |                |                             |                      |
|-------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|
| Instrumento de medición | Potenciómetro  | N° de serie del Instrumento | : B332837163         |
| Marca                   | METTLER TOLEDO | N° de serie del sensor      | : No indica          |
| Modelo                  | SevenGo SG2    | Intervalo de indicación     | : 0.00 pH a 14.00 pH |
| Identificación          | ES.30L *       | Resolución                  | : 0.01 pH            |
- 4 Lugar de calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.
- 5 Fecha de calibración : 2021-07-15
- 6 Método de calibración.

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, según procedimiento PC 020 Calibración de medidores de pH de INACAL 2 ed. 2017.

7 Condiciones Ambientales.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	23,9	64,6
Final	24,3	63,4

8 Trazabilidad

Patrón usado	Código interno	N° Lote o N° Certificado	F. Vencimiento
MRC pH 4	GQP-S-01.61	CC719366	2023-04-06
MRC pH 7	GQP-S-02.59	CC706583	2022-12-21
MRC pH 10	GQP-S-03.62	CC717044	2023-03-17

9 Resultados de medición

Indicación del instrumento (pH)	Valor del patrón (pH)	Error (pH)	Incertidumbre (pH)
4,01	4,011	-0,001	0,015
7,01	6,999	0,011	0,015
10,02	10,018	0,002	0,015

10 Observaciones

- a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C
- b) El coeficiente de correlación calculado es: 1,0000
- c) El número 7462392 se encuentra grabado en el cable del sensor.
- \* Dato proporcionado por el usuario.
- 
- La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
  - Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
  - Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características de trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
  - La incertidumbre declarado en el presente certificado ha sido estimada siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEML.
  - Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Sin firma y sello carecen de validez.
  - Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.

Fecha de emisión  
2021-07-15

**ISAIAS CURÍ MELGAREJO**  
 Jefe de Laboratorio de Calibración  
 GREEN GROUP PE S.A.C.

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (PÁGINA DIGITAL), SEGÚN LEY N° 27120 DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES

FO-[LC-PR-01]-03

Av. Aviación 4210 - Surquillo
Central: 560-6134 / 273-3550
www.greengroup.com.pe

Isaias Curi Melgarejo  
30/07/2021

TEL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY

### ANEXO 3: Certificado de Calibración del Conductímetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL -DA CON REGISTRO N° LC- 019

*Certificado de Calibración*  
LA-625-2021



Registro N°LC -019

Pág. 1 de 1

- 1 Cliente : NSF INASSA S.A.C.
- 2 Dirección : Av. La Marina Nro. 3035 - Urb. Maranga - San Miguel
- 3 Datos del Instrumento
  - . Instrumento de medición : Medidor de Conductividad\* . N° de serie del instrumento : 180200002691
  - . Marca : HACH . N° de serie de sensor : 193042582180
  - . Modelo : HQ40d . Intervalo de Indicación : 0,01 uS/cm a 200,0 mS/cm
  - . Identificación : E97.2C\*\* . Resolución : 0,1uS /cm -1uS /cm -0,01mS /cm
- 4 Lugar de calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.
- 5 Fecha de calibración : 2021-09-17
- 6 Método de calibración

La calibración se realizó por comparación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de conductividad específica certificados, según procedimiento "PC-022 Calibración de conductímetros" de INDECOPI.

7 Condiciones Ambientales.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	21,4	63,5
Final	22,3	61,6

8 Trazabilidad

Patrón usado	Código interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
MRC 98,7 uS/cm	GGP-S-04.79	CC20952	2022-03-10
MRC 1412 uS/cm	GGP-S-05.76	CC20818	2022-02-10
MRC 9992 uS/cm	GGP-S-07.73	CC20466	2021-11-05

9 Resultados de medición

Indicación del instrumento	Valor del patrón	Error	Incertidumbre
98,2 uS/cm	98,7 uS/cm	-0,5 uS/cm	2,2 uS/cm
1413 uS/cm	1412 uS/cm	1 uS/cm	7 uS/cm
10,14 mS/cm	9,99 mS/cm	0,15 mS/cm	0,05 mS/cm

10 Observaciones

- a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
- \* La calibración del medidor de conductividad se realizó en el Multiparámetro.
- \*\* Dato proporcionado por el usuario.

- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$ , de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimada siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sello carecen de validez.
- Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.

Fecha de Emisión

2021-09-20

*F. Valenzuela*  
22/09/2021

*Isaias Curi Melgarejo*  
ISAIAS CURI MELGAREJO  
Jefe de Laboratorio de Calibración  
GREEN GROUP PE S.A.C

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL, SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-[LC-PR-01]-03

Av. Avilación 4210 - Surquillo

Central: 560-8134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

### ANEXO 4: Certificado de Calibración del Oxímetro



## Certificado de Calibración

L.A - 2842021

Pág. 1 de 1

- 1 Cliente : NSF INASSA S.A.C.
- 2 Dirección : Av. La Marina Nro. 3035 - Urb. Maranga - San Miguel
- 3 Datos del Instrumento :
  - .Instrumento de Medición : Medidor de Oxígeno\* .N° de serie del Instrumento : 18020002691
  - .Marca : HACH .N° de serie del sensor : 181802597013
  - .Modelo : HQ40d .Alcance : 0,00 mg/L a 20,00 mg/L
  - .Identificación : E97.2C \*\* .Resolución : 0,01 mg/L
- 4 Lugar de calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.
- 5 Fecha de calibración : 2021-09-17
- 6 Método de calibración

La calibración se realizó por comparación de la indicación del Instrumento con valores asignados a materiales de referencia de oxígeno, según procedimiento GGP-06 Calibración de Medidores de Oxígeno Disuelto – Green Group.

7 Condiciones Ambientales

	Temperatura (°C)	Humedad (%H.R.)	Presión (mbar)
inicial	24,9	62,4	994,4
final	25,0	64,6	994,3

8 Trazabilidad

Materiales de Referencia	Código Interno	N° Lote/Certificado	F. Vencimiento
Solución estándar de Oxígeno Zero	GGP-S-13.31	14299	2022-03-19
Barómetro	GGP-02	P-0225-2021	2022-01-18

9 Resultados de Medición

Referencia (mg/L)	Lectura del Instrumento (mg/L)	Error (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,00	0,03	0,03	0,01
8,10	8,09	-0,01	0,01

10 Observaciones

- a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
- \* La calibración del medidor de oxígeno se realizó en el Multiparámetro.
- \*\* Dato proporcionado por el usuario.
- La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k = 2$ , de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el Instrumento y sensor de oxígeno disuelto, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del Instrumento.
- El certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.
- La Incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.

Fecha de emisión

2021-09-20



ISAIAS CURI MELGAREJO  
 Jefe de Laboratorio de Calibración  
 GREEN GROUP PE S.A.C

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES) FO-[LC-PR-01]-03

Av. Aviación 4210 - Surquillo

Central: 560-6134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

## ANEXO 5: Certificado de Calibración del Termómetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA  
CON REGISTRO N° LC - 001



Registro N° LC - 001

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° T-0361-2020



Expediente N° :95211  
Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2020-02-03

1. **Solicitante** : NSF INASSA S.A.C.
2. **Dirección** : Av. La Marina N° 3035 - Urb. Maranga - San Miguel - Lima
3. **Instrumento calibrado** : TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL  
**Marca / Fabricante** : CONTROL COMPANY / TRACEABLE  
**Identificación** : ETD-18 (\*)  
**Serie** : No indica  
**Modelo** : No indica  
**Intervalo de indicación** : -50 °C a 300 °C  
**Resolución** : 0,1 °C  
**Sensor** : RTD  
**Procedencia** : No indica  
**Ubicación** : Operaciones (\*\*)
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Temperatura y Humedad de METROIL S.A.C.
5. **Fecha de calibración** : 2020 - 02 - 03
6. **Método de calibración**  
 La calibración se realizó por comparación directa según el procedimiento PC-MT-001 Rev. 07 " Procedimiento de Calibración de Termómetros con indicación Digital " de Metroil S.A.C.
7. **Trazabilidad**  
 Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM , en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

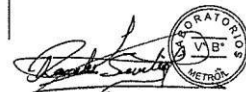
METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.

Código	Instrumento Patrón	Certificado de Calibración
IT-191	Termómetro Digital con incertidumbre del orden desde 0,028 °C a 0,038 °C	LT-146-2019 / INACAL - DM
IT-192	Termómetro Digital con incertidumbre del orden desde 0,028 °C a 0,038 °C	LT-147-2019 / INACAL - DM



**RANDY C. SANTIAGO JURADO**  
Laboratorio de Calibración

METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2040 - Lima 01 - Lima, Perú Central Telefónica: (511) 713-9080 / (511) 713-5856 / 999 048 181 Atención al Cliente: 975 193 739  
 Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 432 445 / 965 403 256 E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe



## ANEXO 6: Certificado de Calibración del Turbidímetro



# Certificado de Calibración

LA - 3252021

Pág. 1 de 1

**1 Cliente** : NSF INASSA S.A.C.

**2 Dirección** : Av. La Marina Nro. 3035 - Urb. Maranga - San Miguel

**3 Datos del Instrumento**

.Instrumento de Medición : Turbidímetro	.Alcance : 0,00 NTU a 1000 NTU
.Marca : HACH	.Resolución : 0,01 NTU / 0,1 NTU / 1 NTU
.Modelo : 2100P	
.N° de serie del Equipo : No Indica	
.Identificación : E4.3L	

**4 Lugar de Calibración** : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.

**5 Fecha de Calibración** : 2021-10-25

**6 Método de Calibración**

La calibración fue realizada por comparación y ajuste con patrones utilizados de acuerdo a lo establecido en el manual de fabricante.

**7 Condiciones Ambientales.**

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	23,6	61,9
Final	23,6	62,3

**8 Trazabilidad**

Patrón Usado	Código Interno	N° Lote/Certificado	F. Vencimiento
MRC de formazín 0 NTU	GGP-S-08.4	A0199	2022-07-31
MRC de formazín 20 NTU	GGP-S-10.9	A0127	2022-05-31
MRC de formazín 100 NTU	GGP-S-16.9	A1174	2023-06-30
MRC de formazín 800 NTU	GGP-S-11.11	A1008	2023-01-31

**9 Resultados de Medición**

Indicación del Instrumento (NTU)	Valor del patrón (NTU)	Corrección (NTU)	Incertidumbre (NTU)
0,13	0,08	-0,05	0,01
20,0	19,7	-0,3	0,1
101	100	-1	0,8
797	802	5	1,3

**10 Observaciones**

- a) La precisión del instrumento declarado en el manual del fabricante es: ± 2 % de la lectura más la luz difusa en el intervalo de 0 NTU A 1000 NTU.
- La Incertidumbre de medición reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento calibrado, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- El certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.

Fecha de Emisión

2021-10-25

**ISAIAS CURÍ MELGAREJO**  
 Jefe de Laboratorio de Calibración  
 GREEN GROUP PE S.A.C

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY Nº 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-[LC-PR-01]-03

EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY

## ANEXO 7: Certificado de Acreditación por INACAL del Laboratorio NSF INASSA SAC

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación a:

## NSF INASSA S.A.C.

**Laboratorio de Ensayo**  
En su sede ubicada en: Av. De La Marina N° 3035, distrito San Miguel, provincia y departamento de Lima.

Con base en la norma  
**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**  
Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 25 de junio de 2021  
Fecha de Vencimiento: 24 de junio de 2025

Cédula N° : 0371-2021-INACAL/DA  
Contrato N° : N° 038-2021-INACAL/DA  
Registro N° : LE-001



Firmado digitalmente por RODRIGUEZ ALEGRIA  
Alejandra FAU 20600283015 soft  
Fecha: 2021-07-07 09:56:04  
Motivo: Soy el Autor del Documento

---

**ALEJANDRA RODRIGUEZ ALEGRIA**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 02 de julio de 2021

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y símbolo de acreditación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion) al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de Ibero American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-03MVar 02

**ANEXO 8: DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM (LMP)**
**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