

Wastewater Treatment from the Colpamayo Creek Using Artificial Wetlands with *Schoenoplectus Californicus* and *Phragmites Australis*

Clever Vasquez - Saucedo¹, Yosmer Ruiz-Goicochea², Gladys S. Licapa-Redolfo³

^{1,2}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú. N00252362@upn.pe, N00032995@upn.pe

³Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe

Abstract: *The objective of this research was to determine the efficiency of artificial wetlands with phragmites australis and schoenoplectus californicus, in the treatment of wastewater from the Colpamayo stream. The study was carried out in three phases: field, laboratory, and office. In the field phase, three artificial wetland systems were built, with the following characteristics: 0.86 m “l”, 0.43 m “w”, 0.44 m “h”, using layers of gravel, coarse sand, fine sand, and peat as material. support of the species “Phragmites australis and schoenoplectus californicus”. Finally, the wastewater from the Colpamayo stream was subjected to treatment for 72 hours, taking samples every 24 hours. The results obtained were in a retention time of 72 hours, with removals of 90% copper, 90% lead, 89% Zinc, and reductions of 90% helminths eggs, 85% thermotolerant coliforms, 84% DBO₅, 82% DQO, 84% Escherichia coli, 77% Oils and fats, 98% detergents. Concluding that wetland three constituted by a combination of two plant species of phragmites australis and schoenoplectus californicus is more efficient for wastewater treatment.*

Keywords: *Constructed Wetlands, Wastewater, Phragmites Australis, Schoenoplectus Californicus.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Tratamiento de Aguas Residuales de la Quebrada Colpamayo Mediante Humedales Artificiales con *Schoenoplectus Californicus* y *Phragmites Australis*

Clever Vasquez - Saucedo¹, Yosmer Ruiz-Goicochea², Gladys S. Licapa-Redolfo³

^{1,2}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú. N00252362@upn.pe, N00032995@upn.pe

³Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. gladys.licapa@upn.edu.pe

Resumen: La presente investigación tuvo como objetivo, determinar la eficiencia de los humedales artificiales con *phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*, en el tratamiento de aguas residuales de la quebrada colpamayo. El estudio se realizó en tres fases: campo, laboratorio y gabinete. En la fase de campo se construyó tres sistemas de humedales artificiales, con las siguientes características: 0.86 m “l”, 0.43 m “an”, 0.44m “al”, utilizando capas de grava, arena gruesa, arena fina y turba como material de soporte de las especies “*Phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*”. Finalmente, el agua residual de la quebrada Colpamayo fue sometida a tratamiento durante 72 horas, tomando muestras cada 24 horas. Los resultados obtenidos fueron en un tiempo de retención de 72 horas, con remociones de 90% cobre, 90% plomo, 89% Zinc, y reducciones de 90% huevos de helmintos, 85 % coliformes termotolerantes, 84% de DBO₅, 82% de DQO, 84% de *escherichia coli*, 77% Aceites y grasas, 98% detergentes. Concluyendo que el humedal tres constituido por una combinación de dos especies vegetales de *phragmites australis* y *schoenoplectus californicus* es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Humedales Artificiales, Aguas residuales, *Phragmites Australis*, *Schoenoplectus Californicus*

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual durante las últimas décadas de este siglo, se ha visualizado varios problemas vinculados con la disposición de aguas residuales provenientes del uso doméstico, industrial y comercial. La mayoría de las ocasiones los cuerpos receptores de estos residuos líquidos son incapaces de absorber y equilibrar la carga contaminante [1].

La contaminación en el mundo de los recursos hídricos por aguas residuales trae consigo muchas consecuencias como aceleración de la eutrofización de los ecosistemas marinos y del agua dulce, que pone en riesgo la salud de millones de personas y la reducción de la reserva de abastecimiento de agua dulce [2].

En cuanto a América Latina, donde la población esta agrupada en ciudades en más de un 80%. Aunque, el abastecimiento del agua es insuficiente, teniendo en cuenta las aguas residuales sin tratamiento llegan hasta un 70%, lo cual impide alcanzar el ciclo del agua, especialmente por la reutilización del agua debido a su contaminación. Siendo América Latina dueña de un tercio de las fuentes de agua del mundo y así mismo una de las regiones más biodiversas. La contaminación del agua tiene consecuencias ecológicas

negativas, ya que el agua se sustrae, se utiliza y se devuelve a ríos completamente contaminados [3].

En cuanto el Perú sufre la contaminación de sus recursos hídricos a raíz de vertimientos de aguas residuales municipales, ya que el 70% de las aguas residuales que se producen, no cuentan con ningún tipo de tratamiento y de las 143 plantas de tratamiento de agua que existen, el 14% cumple con el reglamento actual para su correcto funcionamiento [3].

Aproximadamente 2,217,946 m³/día de aguas residuales se producen en el Perú y de estas el 32% recibe un tratamiento, otra información relevante es que cada habitante genera 142 litros de aguas residuales por día y para el 2024 el Perú según estudios produciría el doble de lo que actualmente genera [4].

En cuanto a nuestro ámbito de estudio, la quebrada Colpamayo está ubicada al sureste de la zona urbana de la provincia de Chota, por la quebrada Colpamayo, transitan aguas residuales que requieren ser analizadas para determinar su composición microbiológica y fisicoquímica, así mismo encontrar alternativas de solución para su tratamiento. Las aguas de la quebrada son contaminadas por el vertimiento de efluentes con residuos industriales, domésticos; así mismo la misma población emplea esta zona como botadero de basura y desmonte. El mayor grado de contaminación se sitúa desde el sector Colpamayito hasta la confluencia con el río Chotano [5].

Una parte importante que aportan conocimiento primordial sobre el tema de estudio es el marco teórico, junto con las dos variables de esta investigación con sus dimensiones e indicadores, que serán descritas de la siguiente manera.

Por otro lado, cabe mencionar los parámetros que se analizan en las aguas residuales son: temperatura, que tiene un papel importante para las reacciones responsables en la eliminación de nitrógeno y DBO; la conductividad, turbidez, sólidos suspendidos, pH (potencial de hidrógeno), nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno orgánico, demanda química de oxígeno (DQO), nitritos, nitratos [6].

Niveles de tratamiento de aguas residuales: El tratamiento de las aguas residuales se clasifican en varios niveles: Pretratamiento o preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado o terciario [2].

Los humedales artificiales, son sistemas construidos por el hombre donde se lleva a cabo de manera controlada los procesos físicos, químicos y biológicos de remoción de contaminantes que se dan habitualmente en los humedales

naturales. El estudio de estos procedimientos y su adecuado monitoreo y modelación a partir de ecuaciones matemáticas que conceden el empleo de los humedales artificiales, para purificar las aguas residuales en zonas de localidades aislados, donde los procesos de tratamiento convencional no son una opción económica y factible [5].

En una investigación se evaluaron tres especies de diferentes plantas representativas en los humedales naturales como: el gladiolo (*Gladiolus spp*), carrizo común (*Phragmites australis*), y la totora (*Typha latifolia*) en la zona de los Altos de Jalisco. Se empleó tres niveles de tiempo de retención hidráulica (TRH): 3, 5 y 7 días, determinando que el mayor grado de remoción de DBO₅ se logró con un TRH de 7 días, específicamente con la totora y el carrizo en más de 86%, y el pH se reguló a niveles neutros [7].

Además, en otra investigación en una planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Punata se llevó a cabo la construcción de un humedal, para la ejecución de este proyecto se empleó una especie Fitodepuradora: la totora (*Scirpus californicus*), que fue recolectada del lago Titicaca, se realizó un estudio en cada estación del año, obteniendo resultados muy buenos [8].

Así mismo, en una investigación realizada en Villahermosa, Tabasco mediante humedales artificiales, se estudió dos tipos de plantas: *Phragmites australis* y *Pontederia cordata*, los humedales artificiales fueron llenados con agua residual doméstica, logrando un THR de 7 días. Obteniendo resultados totalmente aceptables: En el humedal artificial con *Pontederia cordata* se obtuvo los siguientes resultados de remoción: SST de 18.32mg/L, DBO₅ de 18.6 mg/L, PT de 3.06mg/L, DQO de 40.23mg/L, turbiedad de 10.97NTU, N Total de 4.66mg/L y color de 175UC; en cambio el tratamiento de agua residual doméstica con *Phragmites australis* se obtuvo los siguientes resultados de remoción: DQO 119.96 mg/L, DBO₅ de 50.8 mg/L, N Total de 12.34mg/L, P Total 6.91mg/L, turbiedad de 23.34 UNT, SST de 32.88 mg/L, y color de 252.6 UC [7].

Finalmente, en otro estudio se evaluó la eficacia de un humedal artificial con *Alocasia odora* y *Phragmites australis* en la remoción de algunos contaminantes de aguas residuales con resultados sumamente buenos siendo los siguientes: En un tiempo de retención de 5 días, para DQO 90.9% - 89.3%, DBO₅ 92.4% - 88.8%, Coliformes termotolerantes 85.7% - 28.6%, SST 98.1% - 97% y mientras que en un tiempo de retención de 7 días los valores resultan de 96% -90% DBO, 92.2% - 90.5% DQO, 92.6% - 71.4% de Coliformes termotolerantes y 99.6%-96.5 SST [9].

Por todo lo antes mencionado, el presente estudio, tiene como objetivo determinar la eficiencia de los humedales artificiales con *phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*, en el tratamiento de aguas residuales de la quebrada Colpamayo, teniendo en cuenta tres periodos de tiempos de retención: 24, 48 y 72 horas.

II. METODOLOGIA

A) Ubicación y recolección de la muestra

Para la presente investigación se realizó la recolección de muestras en la quebrada Colpamayo ubicada al sureste del distrito de Chota, provincia Chota, departamento Cajamarca, a unos diez minutos del centro de la ciudad (figura 1). Para ello se tomó una muestra compuesta de diferentes puntos estratégicos y representativos de la quebrada Colpamayo que tiene descargas de agua residual sin tratamiento, utilizando la guía de monitoreo ambiental para aguas superficiales [10]. Los puntos de muestreo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

PUNTOS	ESTE	NORTE	Referencia
P1	759783	9273223	Intersección con río chotano
P2	759976	9273359	Puente carrozable colpamayo
P3	760169	9273594	Ex camal municipal
P4	760443	9273967	A 50 m hacia arriba del ex camal.

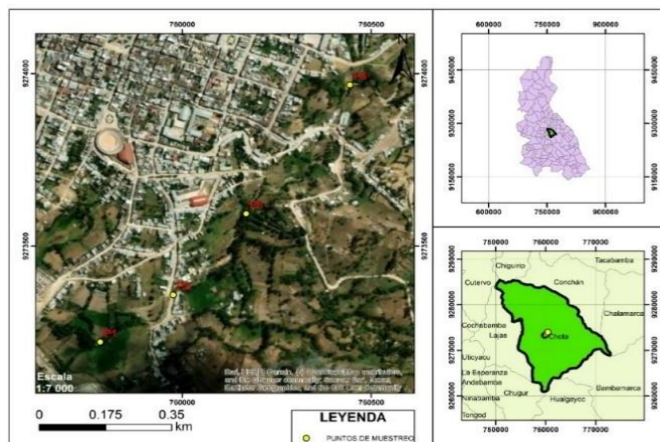


Fig. 1. Ubicación de puntos de muestreo.

B) Diseño de investigación

La presente investigación es de diseño experimental, se realizó una manipulación intencionada de la variable independiente para el estudio son los tiempos de retención hidráulica (TRH) y el estudio de su impacto sobre una variable dependiente las variaciones de los parámetros de estudio [11].

C) Descripción y taxonomía de las especies.

Las especies vegetales utilizadas fueron:

Phragmites Australis, pertenece a la familia *Poaceae*, alcanza una altura de 1,5 a 3 m, con una profundidad de 0,7 - 0,8m, posee rizomas internos que penetran vertical y profundamente en el sustrato o lodo del suelo húmedo, por lo que es posible el efecto del oxígeno, germina en 5 días en condiciones de humedad 20 - 24°C, crece sobre terrenos húmedos o inundados,

con alta acumulación de materia orgánica, el drenaje debe ser lento con el objeto de mantener el medio continuamente húmedo, además de que es muy fácil de adaptarse casi a cualquier tipo de clima [14].

Schoenoplectus Californicus, es una especie hidrófita emergente que crece en suelos inundados de forma permanente o temporal, tiene la capacidad de crecimiento de hasta 3 metros de altura, además tiene una capacidad reproductora muy acelerada y fácil de adaptarse a distintos climas [9].

D) *Análisis de la muestra sin tratamiento.*

Se ha tenido en cuenta los parámetros de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y la categoría 3 – D1 – riego de vegetales de la normativa el D.S. N° 004 – 2017 - MINAM [12], evaluándolos en laboratorio para determinar los parámetros que se encuentran por sobre la normativa mencionada y con estos parámetros trabajar en los humedales. Por otro lado, se requirió los laboratorios del Gobierno Regional de Cajamarca y del INIA para realizar el análisis químico de las diferentes muestras de los tratamientos.

Tabla 2. Resultados antes del tratamiento de aguas residuales

Parámetro	LCM	Resultados	ECA
Fluoruro (F ⁻)	0.0380	0.091	1
Cloruro (Cl ⁻)	0.0650	14.79	500
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0.0500	4.1	10
Conductividad	0.0350	623	2500
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0.0640	0.268	100
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	0.0700	84.54	1000
Bicarbonatos	0.0320	220	518
pH	0.1	7.5	8.5
Color Verdadero	4.0000	19.5	100
(*)Fenoles	0.0010	0	0.002
(*)Detergentes (SAAM)	0.0700	9.5	0.2
Cianuro Wad	0.0020	0	0.1
Aceites y Grasas	1.7000	14	5
DBO ₅	2.6000	49	15
DQO	8.3000	160	40
Oxígeno Disuelto	0.5000	7.5	≥ 4
Coliformes Termotolerantes	1.8	1400	2000
Escherichia coli	1.8	1500	1000
Huevos de Helmitos	1.0	3	1
Cadmio (Ca)	0.10	0.01	0.01
Cobre (Cu)	0.25	1.2	0.2

Hierro (Fe)	0.10	0.9	5
Manganeso (Mn)	0.02	0.02	0.2
Magnesio (Mg)	0.10	9.65	no aplica
Níquel (Ni)	0.10	0.1	0.2
Plomo (Pb)	0.25	0.3	0.05
Zinc (Zn)	0.20	12.3	2

E) *Ejecución del procedimiento*

Se presenta en la figura 2, el procedimiento de la ejecución del experimento diseño del presente experimento para el tratamiento de las aguas de la quebrada Colpamayo contaminados con aguas mediante humedales construidos durante tiempos definidos cumpliendo con los estándares de la normativa [12].

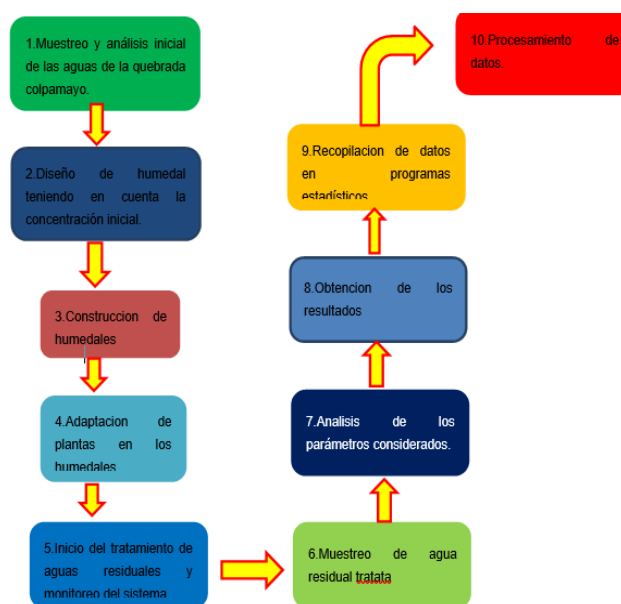


Fig. 2. Diagrama de procesamiento

F) *Diseño de Humedal artificial.*

Para la construcción y diseño del humedal artificial se tomó en cuenta los datos de la tabla 3 siguiendo los pasos:

1° *Muestreo y caracterización sin tratamiento:*

Se llevó a cabo el muestreo del agua residual en la quebrada Colpamayo para la determinación de valores iniciales de los siguientes parámetros: sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno; resultados importantes para realizar los cálculos en el diseño de humedales (fig. 5).

2° *Diseño del sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal se muestra en la fig. 5:*

Tabla 3. Datos para el diseño de humedales

DATOS		
Parámetro	Valor	Unidad
DBO5 de entrada	32.6	mg/l
DBO5 de salida	26.4	mg/l
Caudal_(Q)	0.020	m ³ /día
Población	4	Puntos de la quebrada
n*(porosidad de H.A plantas.)	0,35	
(d) Profundidad	40	cm
T° promedio de agua residual.	17.6	°c

Cálculos para el diseño del humedal artificial:

Dimensionamiento:

Ecuación 1. Cálculo del área de la superficie

$$A_s = L * W = \frac{Q \left[\ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \right]}{k_t dm} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

As = Área superficial del humedal en (m²)

L = Longitud (m)

W= Ancho (m)

Q = Flujo (m3 /día)

Co: Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del afluente (mg/L)

Ce: Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente (mg/L)

KT: Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales (T °C)

K20: Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales (T-20 °C)

d: Profundidad promedio del agua en el filtro (m)

n: Porosidad de la estructura del filtro (% como decimal)

Hallando k_t :

$$K_t = k_{20}(\theta) = K^{(t-20)^{0.20}}$$

Donde:

$$k_{20} = 1,104$$

$$\theta = 1,06$$

T= 17.6°C

$$K_t = k_{20}(\theta) = K^{(17.6-20)^{0.20}}$$

$$K_T = 0.95$$

Reemplazando K_t en ecuación (1).

$$A_s = L * W = \frac{0,020 \left[\ln \left(\frac{1197.5}{100} \right) \right]}{(0.95)(0.40)(0.35)}$$

$$A_s = 0.3733 \text{ m}^2$$

Ecuación 2. Cálculo de largo-Ancho (L-W) del humedal:

$$L = 2W \dots \dots (2)$$

$$2W * W = 0.3733$$

$$W = \left(\frac{0.3733}{2} \right) 0.5$$

$$w = 0,43 \text{ m}^2$$

$$L = 2 * 0.43$$

$$L = 0.86 \text{ m}$$

Por consiguiente, se comprende que los humedales artificiales están constituidos por las siguientes dimensiones: largo 0.86m, ancho 0.43m y una altura de 0.40m. con un volumen 0,15 m³ el diseño se muestra en la figura 5.

Ecuación 3. Cálculo de la capacidad hidráulica (ecuación de Darcy)

$$Q = K_s AS \dots \dots \dots (3)$$

Donde: A= área transversal

$$A = 2(W * p)$$

$$A = 2(0.46 * 0.40)$$

$$A = 0.347\text{m}^2$$

Ecuación 4. Cálculo de: S gradiente hidráulico

$$S = (0.1) * \frac{d}{L} \dots \dots (4)$$

$$S = 0.04$$

Ecuación 5. Cálculo de KS: conductividad hidráulica (0,015)

$$Ks = \frac{3}{200} * 100 \dots \dots (5)$$

$$Ks = 1.5$$

Ecuación 6. Cálculo del caudal requerido

$$Q = Ks * A * S \dots \dots (6)$$

$$Q = 1.5 * 0.37 * 0.04$$

$$Q = 0.020 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ecuación 7. Cálculo del tiempo de retención (TRH)

$$TRH = \frac{(Volumen * Espacio vacío)}{Q} \dots \dots \dots (7)$$

$$TRH = \frac{0.17m^3 * 0.35}{0.022m^3/día}$$

$$TRH = 2.89 \text{ días}$$

3° Construcción de humedales artificiales:

Se empleó tres contenedores con las siguientes medidas (fig. 3): 0,43 m de ancho; 0,86 m de largo; 0,40 m de profundidad, con una capacidad de 0.15 m³, además de un tanque con capacidad de 80L; tuberías y complementos; ladrillos para soporte del diseño, luego de construir la estructura se procedió a instalar la primera capa del humedal, compuesto por grava, la segunda capa está compuesta de arena gruesa, la tercera capa está compuesta por arena fina, la cuarta capa está compuesta por materia orgánica (fig. 4 (b)) y luego del establecimiento de las capas se sembraron las dos especies de plantas (fig. 4 (c)); para el humedal 1 (10 unidades de *Phragmites australis*), humedal 2 (10 unidades *Schoenoplectus californicus*) y en el humedal 3 (5 unidades de *Schoenoplectus californicus* y 5 *Phragmites australis*). La cantidad de plantas sembradas fue considerando el espacio necesario para cada una de las especies.

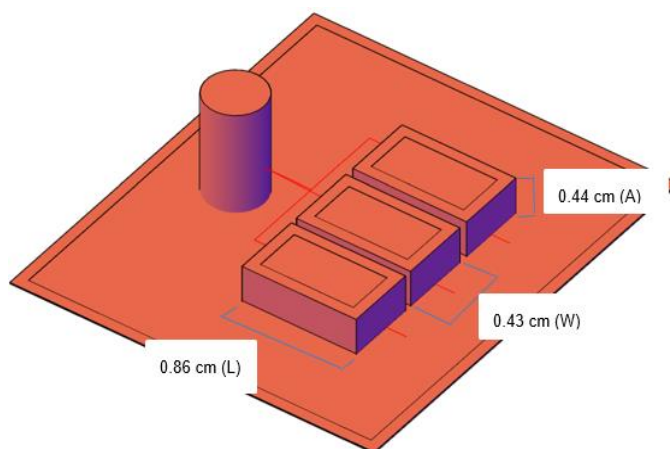


Fig. 5. Diseño del humedal artificial

G) Adaptación de plantas “*phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*”

El tiempo de adaptación de las plantas fue durante 39 días (20 de septiembre – 28 octubre) con riegos apropiados de un litro de agua en condiciones por día, luego se procedió a la adaptación de las plantas con agua residual de la quebrada Colpamayo por dos semanas aproximadamente. En el humedal 1 se identificó 27 plantas de *Phragmites australis*, 22 plantas de *Schoenoplectus californicus* en el humedal 2 y en el humedal 3 se halló un total de 25 plantas, 13 de *Phragmites australis* y 12 de *Schoenoplectus californicus*; en referencia a las cantidades iniciales de siembra se muestra en la figura 4 (c).

H) Tratamiento de aguas residuales

Luego de la adaptación de las especies vegetales, se abasteció con 22 litros de agua residual para cada humedal artificial construido, con un caudal de 0,020 m³/día, proveniente de la quebrada Colpamayo, se consideró tres días de tratamiento, con tiempos de retención de 24, 48 y 72 horas. Para la recolección del agua ya tratada a la salida de cada sistema de tratamiento se colocaron tres recipientes de tamaño mediano (fig. 6 (a)), para luego proceder a recolectar las muestras.

I) Toma de muestra post tratamiento

La toma de muestras se llevó a cabo considerando la norma técnica peruana: NTP-ISO-5667 -10:2012. Calidad del Agua. Muestreo y Guía para el aseguramiento de la calidad del muestreo del ambiente y su manipulación [13]. El muestreo se realizó por triplicado con intervalos de 24 horas cada una en cada sistema de tratamiento (fig. 6).



Fig.3. (a) Diseño del sistema (b) roca grava (c) arena gruesa



Fig.4. (a) Arena fina (b) “Turba”. (c) Sembrío de plantas



Fig. 6. (a) Toma de muestras (b) Material para la toma de muestras

J) Envasado de muestras

Las muestras se llenaron en frascos de vidrio y de plástico, bien esterilizados con capacidad de acuerdo con el parámetro requerido, debidamente rotulados y codificados. Para la conservación de las muestras recolectadas, se utilizó gotas ácido sulfúrico en solución y hielo en cooler.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se determinó que los parámetros que resultan con concentraciones menores según la normativa [12], fueron los siguientes: Fluoruro, cloruro, nitrito, conductividad, nitrato, sulfato, bicarbonatos, potencial de hidrogeno, color verdadero, fenoles, cianuro wad, Coliformes totales, enterococos fecales; As, Ba, Be, B, Cd, Co, Cr, Fe, Li, Mg; Mn, Hg, Ni; Bifenilos, paratión, aldrin, dieldrin, lindano. Y los parámetros con concentraciones mayores a la normativa mencionada fueron: Aceites y grasas, detergentes, DBO, DQO, OD, coliformes termotolerantes, *escherichia coli*, huevos de helmintos, cobre, plomo, zinc.

Según los monitoreos de los humedales se evidenció que el nivel de eficiencia de los humedales artificiales con *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en el tratamiento de aguas residuales de la quebrada Colpamayo con resultados totalmente aceptables de acuerdo a ley, ya que los resultados obtenidos en un tiempo de retención de 24, 48 y 72 horas comparando con los parámetros que superan las concentraciones de la normativa [12], disminuyeron su concentración, al pasar por un proceso de tratamiento en los humedales artificiales. Los resultados se muestran en la tabla 4,5 y 6.

Tabla 4. Resultados a las 24 horas de retención.

TRH: 24 H				
Parámetro	Ingreso humedal	Salida Humedal 1	Salida Humedal 2	Salida Humedal 3
Aceites y grasas	14	4.1	3.8	4.2
Detergentes	9.5	0.2	0.2	0.19
DBO ₅	49	8.8	8.5	8.9
DQO	160	33.1	32.1	30.4

Coliformes termotolerantes	1400	450	420	270
<i>Escherichia coli</i>	1500	450	460	380
Huevos de Helmitos	3	0.7	0.6	0.6
Cobre	1.2	0.17	0.15	0.14
Plomo	0.3	0.05	0.05	0.05
Zinc	12.3	1.9	1.9	1.8

Tabla 5. Resultados a las 48 horas de retención.

TRH: 48 H				
Parámetro	Ingreso - Humedal	Salida Humedal 1	Salida Humedal 2	Salida Humedal 3
Aceites y grasas	14	3.9	3.7	3.6
Detergentes	9.5	0.17	0.19	0.15
DBO ₅	49	8.5	8.4	8.3
DQO	160	31.4	31.1	29.4
Coliformes termotolerantes	1400	380	340	250
<i>Escherichia coli</i>	1500	410	440	290
Huevos de Helmitos	3	0.5	0.5	0.4
Cobre	1.2	0.15	0.14	0.12
Plomo	0.3	0.05	0.04	0.04
Zinc	12.3	1.8	1.9	1.7

Tabla 6. Resultado a las 72 horas de retención.

TRH: 72 H				
Parámetro	Ingreso - Humedal	Salida Humedal 1	Salida Humedal 2	Salida Humedal 3
Aceites y grasas	14	3.3	3.7	3,2
Detergentes	9.5	0.15	0.13	0.11
DBO ₅	49	8.4	8.3	7.9
DQO	160	29.2	30.1	28.5
Coliformes Termotolerantes	1400	315	310	210
<i>Escherichia coli</i>	1500	370	350	230
Huevos de Helmitos	3	0.5	0.4	0.3
Cobre	1.2	0.14	0.13	0.11
Plomo	0.3	0.04	0.04	0.03
Zinc	12.3	1.6	1.7	1.4

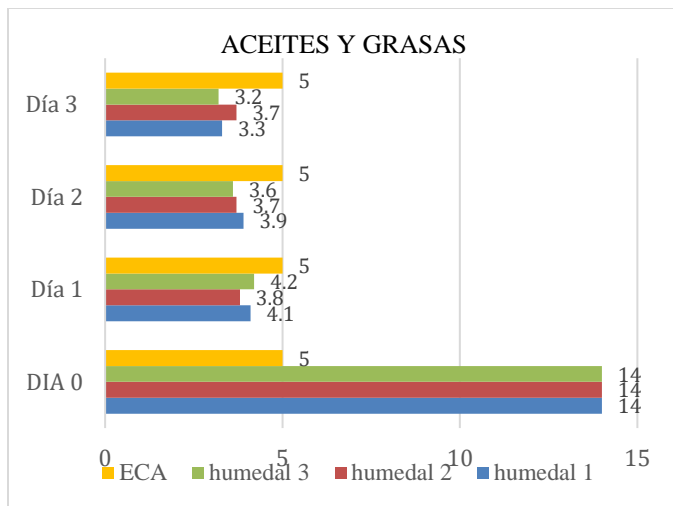


Fig. 7. Resultados de Aceites y grasas durante los tratamientos

La figura 7, muestra los resultados de Aceites y grasas: sin tratamiento con 14 mg/L y a las 24 horas (día 1) en el humedal 1 siendo 4.1mg/l con una remoción de 70.71%, el humedal 2 con 3.8mg/l con una remoción de 72.86%, el humedal 3 con 4.2mg/l con una remoción de 70%, a los 48 horas (día 2) los resultados fueron en el humedal 1 la concentración de 3.9 mg/l con 72.14% de remoción, en el humedal 2 resulta 3.7mg/l con 73.57%, en el humedal 3 con 3.6mg/l de 74.29% de remoción, a los 72 horas (día 3) en el humedal 1 resulta 3.3mg/l con 76.43% de remoción, el humedal 2 resulta 3.7mg/l 73.57% de remoción, y el humedal 3 con 3.2mg/l y una remoción de 77.14% en aceites y grasas y en comparación con el ECA para agua (5 mg/l) [12], se observa que los resultados de los tres humedales están dentro de lo establecido.

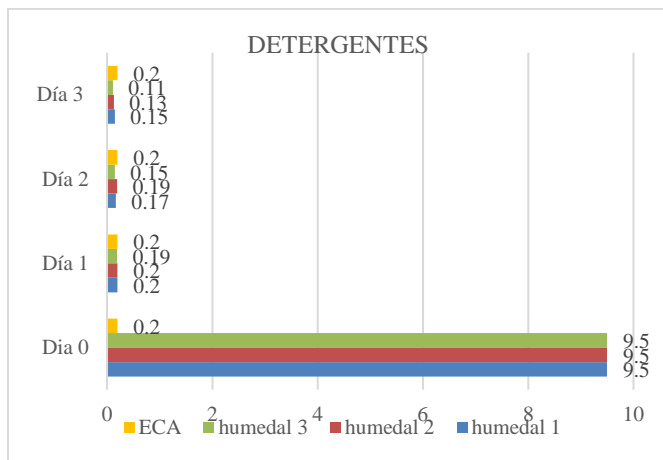


Fig. 8. Resultados de detergentes durante los tratamientos

La figura 8, muestra los resultados para detergente a los 0 horas 9.5 mg/L; a las 24 horas (día 1) en el humedal 1 tiene un resultado de 0.2mg/l, en el humedal 2 resulta 0.2mg/l, en el humedal 3 llega a 0.19mg/l, a los 48 horas (día 2) en el humedal 1 resulta 0.17mg/l, en el humedal 2 con 0.19mg/l, en el humedal 3 resulta 0.15 mg/l; a los 72 horas (día 3) en el humedal 1 resulta 0.15mg/l, en el humedal 2 con 0.13mg/l, y en el humedal 3 resulta 0.11mg/l para detergentes al comparar con el ECA para

agua y la categoría que corresponde a 0.5mg/l [12], se observa que los resultados de los tres humedales cumplen con lo establecido por la normativa.

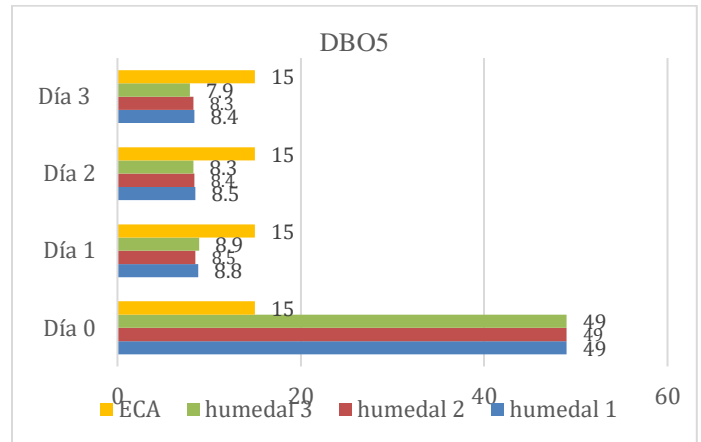


Fig. 9. Resultados de DBO₅ durante los tratamientos

Se observan en la figura 9, los resultados para DBO₅ en el día 0 49mg/L, y los tratamientos según, el día 1 para el humedal 1 con 8.8mg/l, en el humedal 2 resulta 8.5mg/l y en el humedal 3 con 8.9mg/l, y en el día 2 en el humedal 1 resulta 8.5mg/l, y el humedal 2 con resultado de 8.4mg/l y el humedal 3 con resultado de 8.3mg/l, y en el día 3 los resultados fueron en el humedal 1 de 8.4mg/l, en el humedal 2 con 8.3mg/l y el humedal 3 con 7.9mg/l de DBO₅ que al comparar con el ECA para agua y la categoría correspondiente de 15 mg/l [12] y el porcentaje de remoción más alto resulta en el humedal 3 con 83.88% de DBO₅, se observa que los resultados de los tres humedales están dentro de lo establecido por esta normativa.

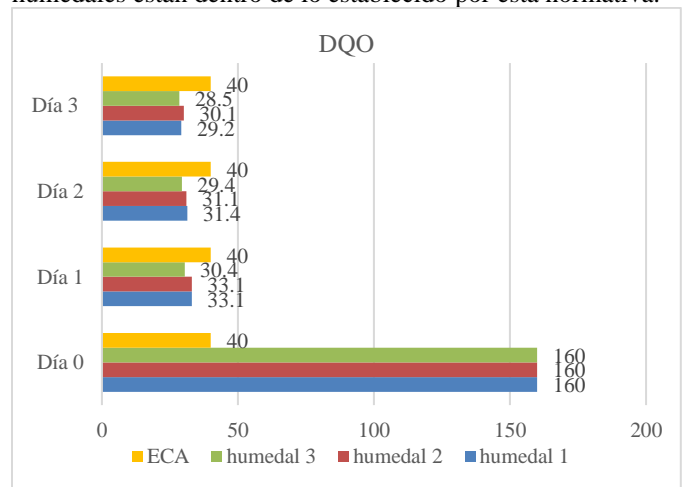


Fig. 10. Resultados de DQO durante los tratamientos

Se muestra en la figura 10 los resultados para DQO en el día 0 de 160mg/l (sin tratamiento) y a las 24 horas de tratamiento (día 1) en el humedal 1 se reduce a 33.1mg/l, en el humedal 2 llega a 33.1 mg/l, y el humedal 3 se logra reducir hasta 30.4mg/l, a los 48 h (día 2) en el humedal 1 se reduce a 31.4mg/l, en el humedal 2 resulta 31.1mg/l y el humedal 3 llega hasta 29.4mg/l con una remoción 81.63% de DQO, A los 72

h(día 3) en el humedal 1 se reduce a 29.2mg/l, y el humedal 2 a 30.1 mg/l y el humedal 3 se reduce hasta 28.5 mg/l” logrando hasta una remoción de 82.19% de DQO y contrastando con el ECA para agua para su categoría es 40 mg/l [12], se observa que los resultados de los tres humedales logra cumplir con la normativa vigente.

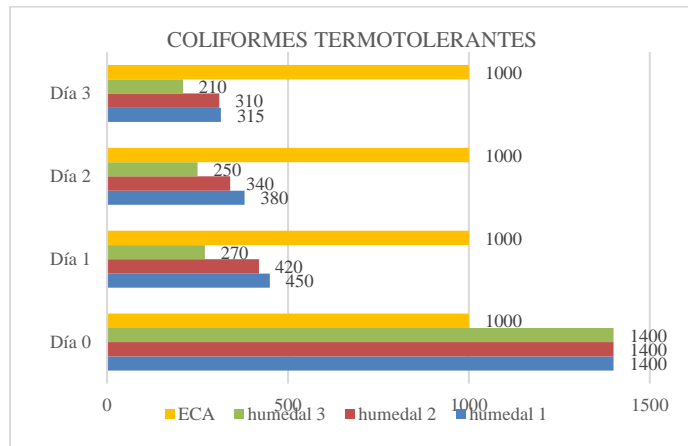


Fig. 11. Resultados de Coliformes termotolerantes durante los tratamientos

Se muestra en la figura 11 los resultados de Coliformes Termotolerantes, para el día 0 (sin tratamiento) 1400 NMP/100mL, en el día 1 para el humedal 1 se reduce a 450 NMP/100 ml, en el humedal 2 con reducción hasta 420NMP/100 ml y en el humedal 3 se reduce hasta 270NMP/100 ml, en el día 2 para el humedal 1 se logra una reducción hasta 380 NMP/100 ml”, en el humedal 2 llega hasta 340 NMP/100 ml, y el humedal 3 se reduce hasta 250 NMP/100 ml”, Finalmente en el día 3 para el humedal 1 la reducción llega a 315 NMP/100 ml, y el humedal 2 se reduce a 310 NMP/100 ml y el humedal 3 se llega a una reducción de 210 NMP/100 ml” comparando con el ECA para agua para su categoría se tiene 1000 NMP/100 ml [12], se observa que los resultados de los tres humedales está dentro de lo establecido.

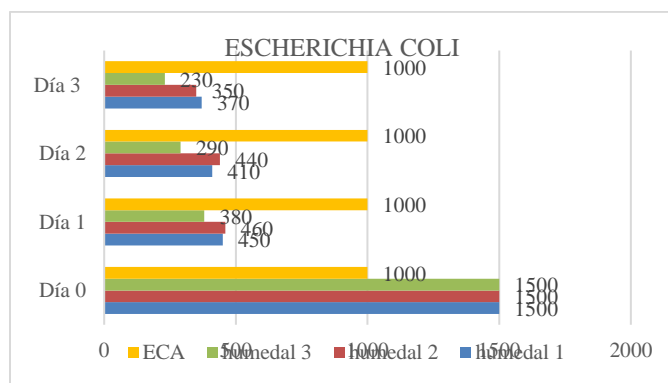


Fig. 12. Resultados de Escherichia Coli durante los tratamientos

Se observan en la figura 12, los resultados para Escherichia coli: en el día 0 (sin tratamiento) 1500 NMP/100ml y a los 24 horas en el humedal 1 se reduce hasta 450 NMP/100 ml, en el humedal 2 se logra reducir a 460 NMP/100 ml y el humedal 3 se logra reducir hasta 380 NMP/100 ml, a los 48 horas en el

humedal 1 se tiene un resultado de 410 NMP/100 ml, en el humedal 2 resulta 440 NMP/100ml y el humedal 3 se logra reducir hasta 290 NMP/100ml, Mientras que a los 72 horas en el humedal 1 se reduce a 370 NMP/100 ml, en el humedal 2 resulta 350 NMP/100 ml y el humedal 3 se logra reducir hasta 230 NMP/100 ml comparando con el ECA para agua para su categoría que indica la normativa vigente 1000 NMP/100 ml [12], se observa que los resultados de los tres humedales cumplen con lo establecido.

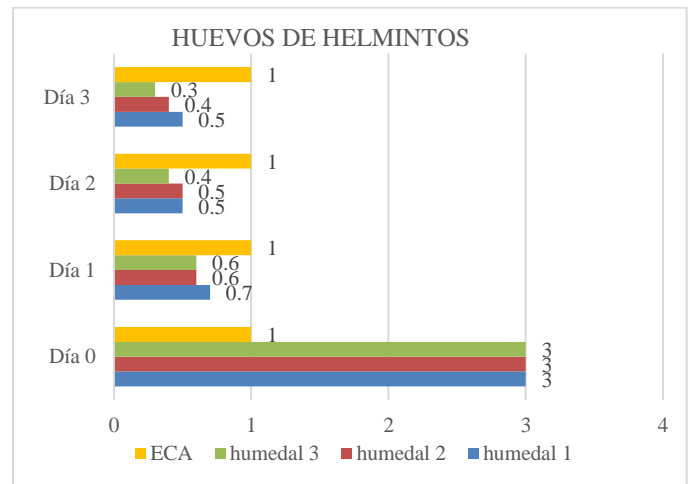


Fig. 13. Resultados de Huevos de helmintos durante los tratamientos

Asimismo en la figura 13 se muestra resultados de Huevos de Helmintos: para el día 0 (sin tratamiento) 3huevo/l, en el día 1 en el humedal 1 se reduce a 0.7 huevo/l, en el humedal 2 a 0.6 huevo/l” y el humedal 3 se logra reducir hasta 0.6 huevo/l”, en el día 2 en el humedal 1 se reduce hasta 0.5 huevo/l”, en el humedal 2 también llega a 0.5 huevo/l y el humedal 3 se reduce a 0.4 huevo/l, en el día 3 en el humedal 1 se reduce a 0.5 huevo/l, en el humedal 2 se logra reducir hasta 0.4 huevo/l” y el humedal 3 también llega a reducir hasta 0.3 huevo/l” comparando con el ECA para agua y la categoría correspondiente es 1 huevo/l [12], se observa que los resultados de los tres humedales cumplen con lo establecido en la normativa vigente.

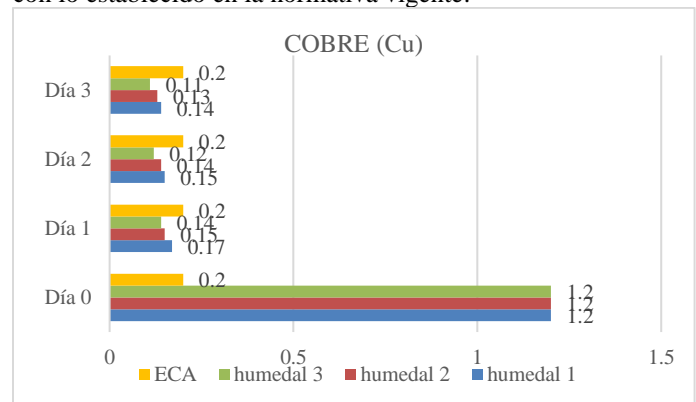


Fig. 14. Resultados de concentración de cobre durante los tratamientos

Se observa en la figura 14, los resultados de concentración de Cu: en el día 0 con 1.2mg/l que supera los valores establecidos en el ECA para agua en la categoría que

corresponde a riego, a los 24 horas de tratamiento (día 1) en el humedal 1 la concentración disminuye hasta 0.17mg/l con un remoción de 85.83%, en el humedal 2 se reduce a 0.15mg/l con una remoción de 87.50% y el humedal 3 resulta 0.14mg/l con una remoción de 88.33%, a los 48 h en el humedal 1 se logra reducir hasta 0.15mg/l con una remoción de 87.50%, en el humedal 2 resulta 0.14mg/l con una remoción de 88.33% y el humedal 3 llega a 0.12 mg/l logrando una remoción de 90%, finalmente a los 72 horas en el humedal 1 se reduce a 0.14mg/l con una remoción de 88.33%, en el humedal 2 resulta 0.13mg/l con una remoción de 89.17% y el humedal 3 logra una reducción de concentración de 0.11 mg/l con una remoción de 90.83%, al comparar con el ECA para agua para su categoría es 0.2mg/l [12], resultados de los tres humedales logran cumplir con lo establecido en la normativa vigente.

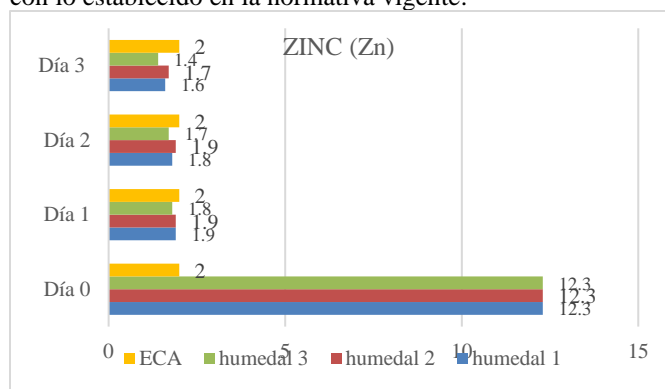


Fig. 15. Resultados de concentración de Zn durante los tratamientos

Para el caso de metales se evaluaron los metales que superaron los ECA para agua y la categoría 3 – D1 riego de vegetales [12], resultados sin tratamiento en la tabla 2 y en la figura 15 muestra los resultados de concentración de Zinc: día 0 (sin tratamiento) con 12.3mg/l con concentraciones de resultados en el día 1 en el humedal 1 de 1.9mg/l con una remoción de 84.55%, en el humedal 2 de 1.9mg/l con una remoción de 84.55% y el humedal 3 con 1.8 mg/l y la remoción de 85.37%, en el día 2 en el humedal 1 con resultados de 1.8mg/l y una remoción de 85.37%, en el humedal 2 se reduce a 1.9mg/l con una remoción de 84.55% y el humedal 3 con 1.7mg/l con una remoción 86.18%, finalmente en el día 3 en el humedal 1 se logra reducir hasta 1.6mg/l con una remoción de 86.99%, en el humedal 2 llega a 1.7mg/l con una remoción de 86.18% y el humedal 3 se logra reducir la concentración a 1.4mg/l con una remoción de 88.62% de Cu y su comparación con el ECA para agua en la categoría correspondiente es 2 mg/l [12], se observa que el resultado de los tratamientos aplicados a aguas de la quebrada Colpamayo contaminado con descargas de aguas residuales en los tres humedales cumplen de lo establecido en la normativa vigente.

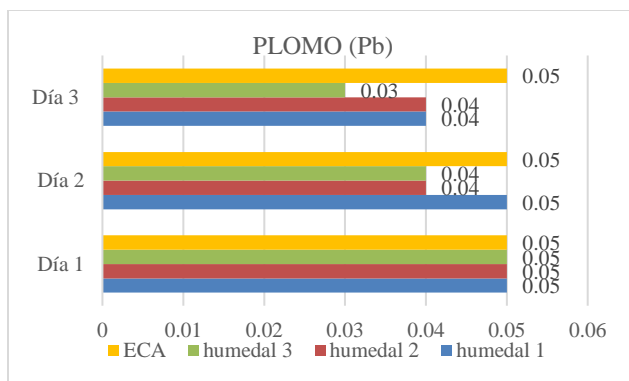


Fig. 16. Resultados de concentración de Pb durante los tratamientos

Del mismo modo, para el caso de plomo la figura 16 muestra los resultados de concentración de plomo: para el día 0 (sin tratamiento) 0.3mg/l y el primer día de tratamiento (día 1) para el humedal 1 resulta 0.05mg/l con una remoción de 83.33%, y el humedal 2 resulta 0.05mg/l con una remoción de 83.33% y el humedal 3 también resulta 0.05mg/l con la misma remoción que las anteriores, en el día 2 en el humedal 1 se logra reducir a 0.04mg/l, en el humedal 2 resulta 0.04mg/l ambos con una remoción de 86.67% y el humedal 3 con 0.05mg/l con una remoción de 83.33%, finalmente, en el día 3 en el humedal 1 la reducción en concentración llega 0.04 mg/l, también en el humedal 2 es 0.04mg/l con una remoción de 86.67% y el humedal 3 logra una reducción de 0.03mg/l con una remoción de 90% comparando con el ECA para agua y la categoría 3 -D1 es 0.05mg/l [12], se observa que los resultados de los tratamientos aplicados en los tres humedales cumplen con lo establecido en la normativa vigente.

El humedal 3 conformado por una combinación de especies vegetales (*phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*) en un tiempo de retención de 72 horas se logró remociones de Cu en 90%, Pb en 90%, Zn en 89% y reducciones de huevos de helmintos en 90%, coliformes termotolerantes en un 85 %; DBO₅ hasta 84%, DQO hasta el 82%, *escherichia coli* en 84%, Aceites y grasas en 77%, y detergentes hasta 98%. Del mismo modo, existen investigaciones que determinan la eficiencia en la depuración de los contaminantes de aguas residuales en un humedal artificial con *Alocasia odora* y *Phragmites australis* , con resultados de 88.8% a 92.4 % para DBO₅; para DQO; entre 89.3% a 90.9%, para SST entre 97% a 98.1% y Coliformes termotolerantes desde 28.6% a 85.7% en un tiempo de retención de 5 días. Mientras que con un tiempo de retención de 7 días los valores resultaron de 90% a 96% DBO, 90.5% a 92.2 % DQO, 96.5% a 99.6% para SST y 71.4% a 92.6% de Coliformes termotolerantes [9].

Por otro lado, existe resultados de investigaciones realizadas para determinar la eficiencia de los sistemas de humedales artificiales con *schoenoplectus californicus* (totora), en el tratamiento del drenaje ácido de minas en la bocamina poderosa – Huachocolpa, con resultados obtenidos de remoción de 57.12 % Cu, 53.93% de Pb, 57.73% Zn respectivamente [14]; en ese sentido, también existen estudios sobre el tratamiento de drenaje ácido de mina con humedales artificiales

utilizando la especie vegetal *Scirpus californicus* con sustrato compuesto por 80 % de estiércol de vaca y 20 % de musgo y aserrín (1:1), con remociones de 97.7% de Fe y 90 % de Cu en un tiempo de tratamiento de 2 días [15].

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que el empleo de humedales artificiales con *phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*, en el tratamiento de aguas residuales de la quebrada Colpamayo, son eficientes, ya que presentan un gran potencial para la remoción de los siguientes parámetros: cobre, plomo, zinc, *Escherichia coli*, coliforms termotolerantes, DBO, DQO, detergentes y aceites y grasas, teniendo en cuenta tiempos de retención de 24, 48 y 72 horas. Además, se afirma que en el humedal 3 conformado por una combinación de especies vegetales (*phragmites australis* y *schoenoplectus californicus*), en un tiempo de retención de 72 horas, se logró mejores resultados con una remoción de 90% Cu, 90% Pb, 89% Zn y reducciones de huevos de helmintos en 90%, coliformes termotolerantes en un 85 %; DBO₅ hasta 84%, DQO hasta el 82%, *escherichia coli* en 84%, Aceites y grasas en 77%, y detergentes hasta 98%.

REFERENCIAS

- [1] J. Larios Meoño, C. González Taranco, y Y. Morales Olivares, “Las Aguas Residuales y sus Consecuencias en el Perú”. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- [2] K. Chang Gutiérrez y C. Huamán Taype, “Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes, plantas típicas de la Selva Peruana”, Universidad Peruana Unión, Lima. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3230>
- [3] S. Vargas Nina y M. Verano Lazaro, “Remoción de Coliformes Totales y Fecales de las Aguas Residuales de una PTAR Mediante la Electrólisis de Una Solución de NaCl”, Huancayo. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9252/T010_74157124_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] OEFA, “Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales”, 2014. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=El%20OEFA%20ejerce%20funciones
- [5] L. Santa Cruz Sanchez y S. Tantaleán Revilla, “Tratamiento de las Aguas Residuales en la Provincia de Chota Aplicando Humedales Artificiales con Eichhornia Crassipes y Canna Edulis en el año 2020”, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2020. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23907>
- [6] J. Rincon Medina y N. Millán Ballén, “Evaluación de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Libre”, Universidad Libre de Colombia, Bogotá, 2013. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/9997/EVALUACION%20DE%20UN%20HUMEDAL%20HSS%20PARA%20LA%20U%20LIBRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] L. Comparán Sánchez, “Cinética de Remoción De Contaminantes Básicos en Humedales Artificiales de Flujo Libre y Subsuperficial con vegetación Cladium Jamaicense”, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, 2020. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/3445/1/4_Tesis_Luis.pdf
- [8] O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez, y M. Andrade, “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”, Cochabamba, 2010.
- [9] J. Cecilio Cabrera, “Remoción de Materia Orgánica, Influenciada por la Macrófita Scirpus californicus, en Humedales Artificiales Subsuperficiales”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/4614/1/cecilio_cy.pdf
- [10] ANA, *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*, ANA. 2016. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>
- [11] C. Ramos-Galarza, “Diseños de investigación experimental”, *CienciAmérica*, vol. 10, n° 1, pp. 1–7, feb. 2021, doi: 10.33210/ca.v10i1.356.
- [12] MINAM, *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*. Perú, 2017. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

- [13] INACAL, *Biblioteca virtual Catálogo de Normas Técnicas Peruanas*. Perú, 2023. Accedido: 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/catalogo-bibliografico>
- [14] R. Alvarez Meza y M. Espinoza Huamani, “Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (totora), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (Dam) en la bocamina poderosa – Huachocolpa, 2021”, Huancavelica, 2022. Accedido: 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/483e398d-b8dd-4d52-b64a-c4a82bf34d8b>
- [15] G. S. Licapa-Redolfo, G. C. F. Chilicaus, y B. S. Escalante Zumaeta, “Retention Time and Substrate Composition in Artificial Wetlands in the Removal of Iron and Copper from Acid Mine Drainage”, en *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.5.