UEA Ambiental
PrePrint UEA

Sección Ambiental
Vol. AMB2324. ep26–169

| Recibido: 14/03/2024 |
| Aceptado: 15/04/2024 |
| Publicado: 23/10/2026 |

Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para el Hospital Básico 17 BS

Proposed design of a constructed wetland wastewater treatment system for Hospital Básico 17 BS

Roberth Fabian Bautista Andy[1], Jessy Paulina Guerrero Rubio[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep26-169 Crossref

Resumen

La presente investigación se centró en analizar la condición actual del efluente residual hospitalario del Hospital Básico, con el objetivo de proponer un diseño para un sistema de tratamiento ecológico. La unidad de salud cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales inactiva y abandonada, que activa alarmas ambientales debido al aumento de la concentración de contaminantes en sus efluentes. Por lo tanto, se necesita de un sistema de tratamiento adecuado y respetuoso con el medio ambiente. Se estimó el caudal en el lapso de 14 días, una medición por cada hora, durante 7 horas y se obtuvo 2,19 L/s, 5,46 L/s y 16,33 L/s para caudales mínimo, medio y máximo respectivamente. La evaluación física-química del agua residual hospitalaria dio como resultado: pH=6,91; temperatura=22,8 °C; conductividad=216,13 μS/cm; sólidos sedimentables=0,1 ml/L; sólidos disueltos=88 mg/L; sólidos totales=120,5 mg/L; oxígeno disuelto=6,35 mg/L; potencial de oxidación-reducción (ORP)=366,17 mV; turbidez=10,07 NTU; DQO=3 mg/L; DBO=8,9 mg/L; coliformes totales=100 000 NMP por cada 100 mL. Los resultados demostraron que el ORP y coliformes totales no cumplen con los LMP de la normativa de descargas expresadas en el TULSMA. El sistema de tratamiento factible que se propuso para este estudio fue el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, que emplearía la especie Phragmites australis como agente biológico removedor, que se ha usado por su capacidad de remoción de contaminantes y eliminación de materia orgánica presente en un efluente.

Palabras clave

aguas residuales hospitalarias, análisis de agua residual hospitalaria, humedal artificial, tratamiento ecológico, alternativa natural

Abstract

This research focused on analyzing the current condition of the hospital wastewater of the Basic Hospital, with the aim of proposing a design for an ecological treatment system. The health unit has an inactive and abandoned Wastewater Treatment Plant, which activates environmental alarms due to the increase in the concentration of pollutants in its effluents. Therefore, a suitable and environmentally friendly treatment system is needed. The flow rate was estimated over 14 days, one measurement per hour, for 7 hours, and 2. 19 L/s, 5. 46 L/s and 16. 33 L/s were obtained for minimum, medium and maximum flows, respectively. The physical-chemical evaluation of hospital wastewater resulted in: pH=6. 91; temperature=22. 8 °C; conductivity=216. 13 μS/cm; sedimentable solids=0. 1 ml/L; dissolved solids=88 mg/L; total solids=120. 5 mg/L; dissolved oxygen=6. 35 mg/L; oxidation-reduction potential (ORP)=366. 17 mV; turbidity=10. 07 NTU; COD = mg/L; BOD= mg/L; total coliforms=100000 MPN per 100 mL. The results showed that the ORP and total coliforms do not comply with the LMP of the normative expressed in the TULSMA. The feasible treatment system proposed for this study was the horizontal subsurface flow artificial wetland, which would use Phragmites australis as a biological removal agent, which has been used for its ability to remove pollutants and remove organic matter from an effluent.

Keywords

hospital's waste water, hospital's analysis wastewater, artificial wetland, ecological treatment, natural alternative

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: amb2017225@uea.edu.ec, jpguerrero@uea.edu.ec,

Autor para la correspondencia

Roberth Fabian Bautista Andy. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: amb2017225@uea.edu.ec

Cómo citar

BAUTISTA ANDY, Roberth Fabian, GUERRERO RUBIO, Jessy Paulina and , 2026. Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para el Hospital Básico 17 BS. PrePrint UEA. Vol. AMB2324. p. ep26–169. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep26-169

Editores Académicos Mario Javier Barrera Castro

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

Las aguas residuales hospitalarias al igual que las domésticas e industriales tienen algo en común, todas ellas están sujetas a un tratamiento para la remoción de los contaminantes, acatar las disposiciones ambientales, evitar que se generen impactos ambientales irreversibles en mejoras y contribuir al bienestar de los individuos. (León et al. 2023)

A pesar de que los efluentes hospitalarios son vertidos químicos relevantes, se debe tomar en consideración que existen más focos contaminantes, debido a las múltiples actividades laborales que se efectúan dentro de un hospital. Los contaminantes presentes en el agua residual hospitalaria llegan a la red de alcantarillado público sin ningún tratamiento, lo que puede transformarse en un problema muy grave.

Los vertidos hospitalarios pueden contener desde químicos, residuos orgánicos hasta agentes patógenos. Beltrán et al. (2019), determinaron que existe un ineficiente tratamiento de los efluentes del Hospital General Puyo con la presencia bacteriana de 50% de *Escherichia coli*, 30% de *Salmone-*

lla spp., 10% de *Klebsiella pneumoniae*, 10% de *Shigella dysenteriae* y 0,1% de *Enterobacter cloacae*. Esto confirma que los procesos de depuración de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital General Puyo no son los idóneos para la remoción de los contaminantes.

Las aguas residuales hospitalarias deben pasar por un tratamiento adecuado previo a su descarga, para que no genere daños a la salud de las personas. Los vertidos hospitalarios que se liberan a la red de alcantarillado y posterior descarga a los cuerpos hídricos llevan consigo los agentes patógenos de alta resistencia, que se han convertido en un gran problema para la salud pública. (Tellez-Carrasquilla et al. 2023)

Hoy en día, existen muchas tecnologías, técnicas y tratamientos amigables con el medioambiente, las cuales se denominan fitorremediadoras. Éstas brindan algunos beneficios, como reducir los tiempos de obra, un manejo más sencillo y su cuidado no es muy costoso. Los humedales artificiales que se han elaborado con un flujo subsuperficial son la alternativa ecológica que esta investigación empleará como tratamiento para depurar las aguas residuales hospitalarias. (Cárdenas, 2019)

La eficiencia de remoción de los contaminantes por un tratamiento de humedales artificiales se ampara en sus procesos naturales como: la fotosíntesis, participación de la luz solar y la existencia de microfauna, que en cooperación de las especies fitorremediadoras eliminan la materia orgánica presente en el agua residual. (Caicedo & Díaz, 2022)

La presente investigación tiene como objetivo proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para optimizar la depuración de los efluentes residuales hospitalarios del Hospital Básico 17 BS. En esta unidad médica se llevó a cabo el respectivo levantamiento de información para lograr conseguir información verídica y actual, con el propósito de evaluar la factibilidad de implementación de los humedales artificiales para eliminar los contaminantes presentes en el agua residual hospitalaria. De este modo, cumplir con los límites máximos permisibles de descarga de efluentes hacia el alcantarillado público, expresados en la normativa ambiental vigente.

2. Metodología

2.1. Localización

El Hospital Básico 17 BS está situado en el Ecuador, provincia de Pastaza, en la ciudad de Puyo, en el barrio el Dorado, es una unidad de salud que pertenece a las Fuerzas Armadas del Ecuador. De acuerdo con el PDOT 2020-2023 del cantón Pastaza existe una temperatura promedio anual de 24,26 °C lo que pertenece a un clima cálido.

2.1.1. Estimación del área

Para obtener la estimación del área, se recurrió a la página web de ESRI Earthstar Geographics, sitio especializado en la venta de software de sistemas de información geográfica (SIG), ubicación avanzada y mapeo. A diferencia de Google Maps, este servidor ofrece una funcionalidad más avanzada al proporcionar detalles específicos sobre cada lote o terreno, incluyendo la clave catastral asignada **(Figura 1 y 2)**.

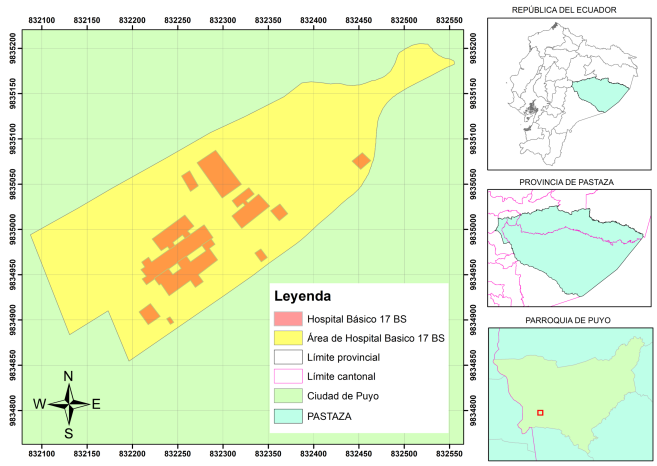


Figura 1 | Ubicación del Hospital Básico 17 BS. Adaptada en ArcMap 10.5

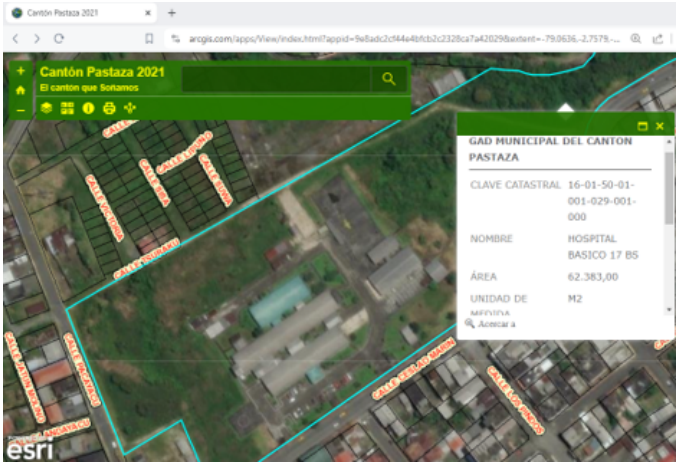


Figura 2 | Captura del servidor de ESRI Earthstar Geographics

Por lo tanto, la unidad de salud posee un área de 62383 m^2 y está ubicado en las siguientes coordenadas:

En la **Tabla 1** posee un relieve plano, suelo de textura franco-limosa, drenaje bueno, profundos, pH ligeramente ácido, alta cantidad de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico. (SIGTIERRAS-MAG, 2020)

Tabla 1 | Coordenadas del Hospital Básico 17 BS. Tomado de resolución No. MAE-DPAP-037-2016.

PUNTO	COORDENADAS		FORMA
	X	Y	
1	832221	9834889	Polígono
2	832352	9834960	Polígono
3	832323	9835001	Polígono
4	832320	9834997	Polígono
5	832258	9835085	Polígono
6	832228	9835067	Polígono
7	832243	9835041	Polígono
8	832226	9835029	Polígono
9	832235	9835016	Polígono
10	832167	9834971	Polígono

2.2. Factor Biótico

Posee un relieve plano, suelo de textura franco-limosa, drenaje bueno, profundos, pH ligeramente ácido, alta cantidad de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico. (SIGTIERRAS-MAG, 2020)

El uso del suelo se distribuye para las áreas médicas, ad-

ministrativas, espacios verdes, recreación, dormitorios, bodegas, parqueaderos y el helipuerto. Además, cerca de la unidad de salud está el río Pindo, el cual proviene de la cordillera central y es el principal recurso hídrico para la flora y fauna del lugar.

En las áreas que no existen infraestructura o vías de acceso se evidenció la presencia de lepidópteras, himenópteras y un encuentro directo con la especie *Enulius flavitorques* **(Figura 3)**.

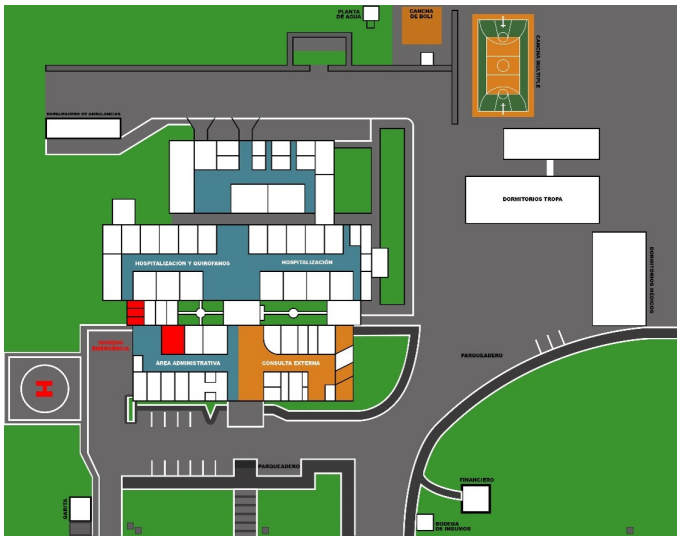


Figura 3 | Croquis del Hospital Básico 17 BS. Adaptada en Adobe Photoshop 2021.

2.3. Materiales y equipos

Los materiales y equipos empleados para la recolección de las muestras, cumplían con sus roles de acuerdo con las cualidades físicas del punto de muestreo, por tanto estos deben estar desinfectados y en condiciones adecuadas para realizar una recolección idónea. El etiquetado de las muestras de agua residual en este estudio se acogió a los requisitos de la NTE INEN 2176:2013.

2.4. Estimaciones Experimentales Estas estimaciones dentro de la investigación son de gran relevancia debido a que todos los métodos y cálculos que se realizarán, dará evidencia el sentido correcto en que se desarrolló el estudio y las herramientas o mecanismos que favorecieron a obtener los resultados esperados. Estas mediciones reflejan el comportamiento actual de las variables, porque de esa manera se puede evaluar los cambios que han sufrido éstas en el tiempo.

2.4.1. Población de diseño

2.4.1.1. Población

De acuerdo con la información que se recolectó en el Hospital Básico 17 BS, la población está distribuida de la siguiente manera:

De acuerdo a los datos obtenidos existe un total de 110 individuos como población total dentro el Hospital Básico 17 BS **(Tabla 2 y 3)**.

Tabla 2 | Materiales y equipos empleados para esta investigación.

Materiales y Equipos	Función
Botas de caucho con punta de acero	Empleadas para acceder a la caja de revisión (Punto de muestreo).
Guantes quirúrgicos de látex estériles	Usadas para la manipulación de las muestras extraídas en el acueducto.
Frascos de ámbar de 1 1itro (1000 ml)	Se utilizaron para almacenar el agua residual.
Flexómetro	Empleado para medir las dimensiones de la caja de revisión.
Cooler	Se usó para el transporte de las muestras.
Cronómetro	Usado para la estimación de los lapsos de tiempo en el aforo volumétrico.
Cámara Honor X8A	Se usó para la evidencia fotográfica del presente estudio.
Memoria USB	Empleada para guardar los datos analizados, y previos cálculos que necesitó la investigación.
Etiquetas adhesivas	Se usó para anotar la información del punto de muestreo.
Labtop Hp	Equipo utilizado para redactar la información analizada (progreso del estudio).
Autoclave	Equipo para esterilizar los materiales de laboratorio.
Incubadora	Equipo utilizado para el cultivo de los microorganismos presentes en la muestra de agua residual.
Medidor de pH/Conductividad	Se empleó este equipo para la estimación del pH y la conductividad eléctrica por medio de electrodos especiales.
Balanza Analítica	Este equipo se usó para pesar y obtener los parámetros que requiere este estudio.
Turbidímetro	Equipo que fue empleado para la medición de la turbidez en la muestra de agua residual.
Incubadora digital	Equipo que se usó para la estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 3 | Población actual del Hospital Básico 17 BS.

Dependencia	Cantidad
Dirección de Hospital de Brigada	2
Sección de admisión, estadística y archivo	4
Centro de informática	1
Subdirección técnica	1
Crítico	26
Departamento clínico	9
Departamento quirúrgico	3
Departamento materno infantil	2
Departamento de odontología	2
Departamento auxiliar. Diagnóstico y tratamiento	21
Subdirección administrativa	1
Departamento de personal	3
Escuadra centro de mensaje	1
Escuadrón I	5
Escuadrón II	5
Escuadrón III	4
Departamento de logística	3
Sección abastecimiento	5
Sección de mantenimiento	3
Escuadrón de transporte	4
Unidad financiera	5
Total	**110**

2.4.1.2. Tasa de crecimiento poblacional

El Instituto de Estadísticas y Censos (INEC) muestran tasas de crecimiento a nivel cantonal y/o parroquial. Por tal razón se utilizó el valor 1,5% que indica el CPE INEN 5 Parte 9.2:1997 Primera revisión, en el cual manifiesta que si no hay existencia de valores de tasa, se debe emplear

el porcentaje de acuerdo a la región geográfica donde está ubicado el sitio de estudio **(Tabla 4)**.

Tabla 4 | Población total e índice de crecimiento poblacional (2001-2022) de la provincia de Pastaza. Adaptada en CPE INEN 5 9.2:1997

Región Geográfica	r (%)
Sierra	1,0
Costa, Oriente y Galápagos	1,5

2.4.1.3. Proyección de la población futura

Según la metodología empleada por Aguilar (2019), se debe elegir un valor entre 20 y 30 años. Este periodo de tiempo concuerda con el lapso en el cual la infraestructura de la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales necesite adecuaciones o modificaciones a causa del incremento de la población en la unidad de salud.

En esta etapa se utilizó el método geométrico para calcular la proyección de la población futura para 20 años. (García & Ludizaca, 2017)

$$P_f = P_i \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t \quad (1)$$

P_f = Proyección de la población futura

P_i = Población inicial

r = Tasa de crecimiento anual

t = Periodo de tiempo en años

$$P_f = 110 \times \left(1 + \frac{1,5}{100}\right)^{20} \quad (2)$$

$$[P_f = 110 \times (1 + 0,015)^{20} \quad (3)$$

$$P_f = 110 \times (1,015)^{20} \quad (4)$$

$$P_f = 110 \times 1,347 \quad (5)$$

$$P_f = 148,17 \quad (6)$$

Se ha determinado que la población futura para un periodo de 20 años para el Hospital Básico 17 BS es de 148 habitantes **(Figura 4)**.

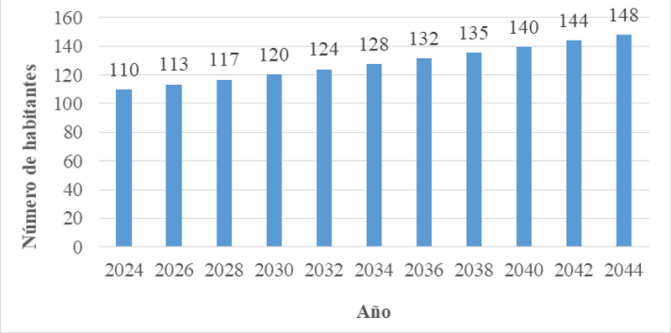


Figura 4 | Aumento poblacional para el periodo de diseño

2.4.2. Dotación

Conforme a lo establecido en el CPE INEN 5 Parte 9.2:1997, presenta las dotaciones de acuerdo con el nivel de servicio. Para el presente estudio en el Hospital Básico 17 BS el nivel corresponde a "IIb" en conformidad a la **Tabla 5** y finalmente la dotación para la unidad de salud es de 100 L/hab*día, por tratarse de un clima cálido, según la **(Tabla 6 y 7)**.

Tabla 5 | Niveles de servicio para sistemas de suministro de agua. Adaptada en CPE INEN Parte 9.2:1997.

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP DE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económicas del usuario.
Ia	AP DE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP DE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño. Letrinas con o sin arrastre de agua.
IIa	AP DE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP DRL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa. Sistema al alcantarillo sanitario.
Simbología utilizada AP = Agua potable DE = Disposiciones de excretas DRL = Disposición de residuos líquidos		

2.4.3. Estimación del caudal (Demanda hídrica)

Para garantizar la efectividad de la propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales, es crucial determinar con precisión el caudal que el Hospital Básico 17 BS vierte hacia la red de alcantarillado público.

Tabla 6 | Dotaciones de agua para los niveles de servicios según el clima. Adaptada en CPE INEN Parte 9.2:1997.

Nivel de servicio	Clima frío (L/hab*día)	Clima cálido (L/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

La medición se realizó en la última caja de revisión, debido a la inexistencia de más conexiones después para su disposición final. El cálculo del caudal se efectuó con el aforo volumétrico empleando un recipiente plástico de volumen conocido. Se realizó al aforo durante 14 días, cada hora en un horario de 7:00 am a 14:00 pm, es decir, 7 horas por día.

2.4.4. Estimación de caudales (Oferta hídrica)

2.4.4.1. Coeficiente de retorno

De acuerdo con la guía para el diseño de tecnologías de alcantarillado de la OPS (2005), este valor representa las pérdidas del suministro de agua que no ingresan al sistema de alcantarillado a causa de los múltiples usos como son

el riego, abrevado, enjuague, etc. Por lo tanto, se estima teniendo en cuenta varios factores, condiciones y estudio realizados, no obstante, mientras no se goce de la tenencia de dicha información, se debe emplear los valores entre 0,80 hasta 0,85. El coeficiente que utilizó el presente estudio fue de 0,80.

2.4.4.2. Caudal medio diario

$$Q_{medio\ diario} = \frac{\beta \times D \times P}{1000} \tag{7}$$

Q_{med} = Caudal medio diario de efluente residual en m^3/d

β = Coeficiente de retorno de efluente residual

D = Dotación en L/hab*día

P = Población

$$Q_{medio\ diario} = \frac{0,80 \times 100\ L/hab * día \times 148\ hab}{1000} \tag{8}$$

$$Q_{medio\ diario} = 11,84\ m^3/d \tag{9}$$

2.4.4.3. Caudal medio horario

Es el cociente entre el caudal medio diario y 24 que es lo que equivale las horas que existen en un día.

$$Q_{medio\ horario} = \frac{Q_{medio\ diario}}{24} \tag{10}$$

$$Q_{medio\ horario} = \frac{11,84\ m^3/d}{24} \tag{11}$$

$$Q_{medio\ horario} = 0,493\ m^3/h \tag{12}$$

2.4.4.4. Caudal medio por segundo

Es el cociente entre el caudal medio diario y 86400 que es lo que equivale la cantidad de segundos que existen en un día.

$$Q_{medio\ por\ segundo} = \frac{Q_{medio\ diario}}{86400} \tag{13}$$

$$Q_{medio\ por\ segundo} = \frac{11,84\ m^3/d}{86400} \tag{14}$$

$$Q_{medio\ por\ segundo} = 0,0001370\ m^3/s \tag{15}$$

$$Q_{medio\ por\ segundo} = 0,0001370\ m^3/s \times \frac{1000\ L}{1\ m^3} = 0,137\ L/s \tag{16}$$

2.4.4.5. Caudal punta diario

Tabla 7 | Valores empleados para coeficiente de punta en poblaciones pequeñas. Tomado de (García & Corzo, 2008, como se citó en Aguilar, 2019).

Parámetro	Intervalo	Valor Típico
Coeficiente punta diario	1,2 – 2,0	1,7
Coeficiente punta mensual	1,0 – 1,5	1,2

Por lo tanto, se procede a calcular:

$$Q_{punta\ diario} = Q_{medio\ diario} \times 1,7 \tag{17}$$

$$Q_{punta\ diario} = 11,84\ m^3/d \times 1,7 \tag{18}$$

$$Q_{punta\ diario} = 20,13\ m^3/d \tag{19}$$

2.4.4.6. Caudal punta horario

Para obtener la caudal punta horario se procede primeramente a calcular el coeficiente de punta horario, cuyo procedimiento es el siguiente:

$$C_{punta\ horario} = \frac{5}{-}p^{1/6} \tag{20}$$

p = Población en miles, lo cual indica que se debe dividir la población entre 1000

$p = \frac{148}{1000} = 0,148$

$$C_{punta\ horario} = \frac{5}{-}0,148^{1/6} \tag{21}$$

$$C_{punta\ horario} = 6,875 \tag{22}$$

Finalmente, el procedimiento para estimar el caudal punta horario es el siguiente:

$$Q_{punta\ horario} = Q_{medio\ horario} \times C_{punta\ horario} \tag{23}$$

$$Q_{punta\ horario} = 0,493\ m^3/h \times 6,875 \tag{24}$$

$$Q_{punta\ horario} = 3,389\ m^3/h \tag{25}$$

2.4.4.7. Caudal mínimo diario

Para el cálculo de este parámetro solo se utilizó el 30% del caudal medio diario que se estimó previamente.

$$Q_{mínimo\ diario} = Q_{medio\ diario} \times \left(\frac{30\%}{100\%}\right) \tag{26}$$

$$Q_{mínimo\ diario} = 11,84\ m^3/d \times 0,3 \tag{27}$$

$$Q_{mínimo\ diario} = 3,55\ m^3/d \tag{28}$$

2.5. Recolección de la muestra

Analizar las aguas residuales es una de las partes más importantes dentro de cualquier estudio, debido a que en estos análisis se puede verificar las condiciones actuales de los

vertidos que el Hospital Básico 17 BS descarga hacia el alcantarillado público. Para este estudio se efectuó la recolección de una muestra simple de 4 litros distribuidos en cuatro frascos de un litro (1000 mL), cada una previamente esterilizada, todas de vidrio ámbar que protegen la muestra del efecto de la radiación solar.

Las muestras fueron trasladadas hacia los laboratorios de la Universidad Estatal Amazónica, donde 3 frascos se destinaron al Laboratorio de Ambiental y uno al Laboratorio de Biología. Contando con la debida autorización superior y la cooperación afable de los técnicos se pudieron estimar los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, potencial de oxidación-reducción (ORP), turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes totales **(Tabla 8)**.

2.5.1. Metodología empleada en los laboratorios para la estimación de los parámetros

Tabla 8 | Metodologías empleadas para los análisis físicos-químicos

Parámetro	Método o técnica	Lugar de estimación
pH	Standard Methods (4500-H^+ B)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Temperatura	Standard Methods (2550 A)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Conductividad eléctrica	Standard Methods (2510 B)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Sólidos sedimentables	Standard Methods (2540 F)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Sólidos disueltos	Standard Methods (2540 C)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Solidos totales	Standard Methods (2540 B)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Oxígeno disuelto	Standard Methods (4500-O G)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Potencial de oxidación-reducción (ORP)	Standard Methods (2580 B)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Turbidez	Standard Methods (2130 B)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Demanda Química de oxígeno (DQO)	Método de digestión por reactor	Laboratorio de estudios ambientales – UEA-CEIPA
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	Método respirométrico/HACH (5210 D)	Laboratorio de Ambiental – UEA- Matriz Puyo
Coliformes totales	Estimación mediante placas petrifilm	Laboratorio de Biología – UEA- Matriz Puyo

2.6. Propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales o construidos

La propuesta para la siguiente investigación pretende diseñar un sistema de tratamiento para efluentes residuales hospitalarios provenientes del Hospital Básico 17 BS. Cabe mencionar que la unidad de salud en constancia del monitoreo efectuado el 13 de enero del 2022 si cumplió con LMP establecidos en la normativa de descargas al sistema de alcantarillado. Por ende, no es factible ni ventajoso diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales completa, debido a que se requiere de un alto gasto. El objetivo es diseñar un sistema ecológico para el tratamiento de aguas residuales aplicando procesos de fitorremediación, de este modo mejorar la calidad de los efluentes residuales hospitalarios actuales por medio de humedales artificiales y minimizar costos de construcción, mantenimiento y personal calificado. El presente estudio se centrará en dos fases: el pretratamiento y el tratamiento ecológico por medio de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSS-H) para los efluentes residuales hospitalarios, al ser una excelente alternativa de bajo costo y rentable. *2.6.1. Pretratamiento*

2.6.1.1. Aliviadero de aguas residuales hospitalarias

Según Basantes (2021), la construcción del aliviadero en la entrada del sistema de tratamiento permitirá minimizar el caudal excedente que ingresa al mismo, ya sea de aguas residuales y aguas lluvias que se presentan mezcladas.

2.6.1.1.1. Caudal de escorrentía

Para estimar el caudal de escorrentía que ingresa al sistema, se siguen los siguientes pasos:

Como primer paso, se debe calcular el área de aportación.

$$A_{aportación} = Area\ total - Area\ que\ ocupa\ el\ Hospital \quad (29)$$

$$A_{aportación} = 62383\ m^2 - 5852{,}94\ m^2 \quad (30)$$

$$A_{aportación} = 56530{,}06\ m^2 \quad (31)$$

Como segundo paso, se procede a escoger el coeficiente de escorrentía, este valor se basa en el tipo de zona donde está ubicada el sitio de estudio. Para la presente investigación se usó es de 0,7.

Tercer paso, según el INAMHI (2019) el cálculo de la intensidad de lluvia en base a la estación M0008 de la ciudad de Puyo es el siguiente **(Tabla 9)**:

Tabla 9 | Valores del coeficiente de escorrentía. Tomado de (Basantes, 2021).

Tipo de Zona	Valores de C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0,7 – 0,9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas	0,7
Zonas residenciales medianamente pobladas	0,55 – 0,65
Zonas residenciales con baja densidad	0,35 – 0,55
Parques, campos de deportes	0,1 – 0,2

$$i = 279{,}762 \times T^{O,1201} \times t^{-0{,}4262} \quad (32)$$

i = Intensidad de lluvia (mm/h)

T = Proyección de tiempo (año)

t = Tiempo específico (min)

$$i = 279,762 \times 20^{O,1201} \times 60^{-0,4262} \quad (33)$$

$$i = 70,016\ mm/h \quad (34)$$

$$i = \frac{70,016\ mm}{h} \times \frac{1\ h}{3600\ s} \times \frac{1\ m}{1000\ mm} = 1,945 \times 10^{-5}\ m/s \quad (35)$$

Último paso, finalmente se procede a calcular el caudal de escorrentía:

$$Q_{escorrentía} = C_{escorrentía} \times i \times A_{aportación} \quad (36)$$

$$Q_{escorrentía} = 0,7 \times 1,945 \times 10^{-5}\ m/s \times 56530,06\ m^2 \quad (37)$$

$$Q_{escorrentía} = 0,7697\ m^3/s \quad (38)$$

2.6.1.1.2. Coeficiente de dilución

Para el presente estudio se tomará de acuerdo a metodología de Aguilar (2021), el valor de 6,5 para el coeficiente de dilución.

Caudal máximo instantáneo

El flujo de agua sobrante que se perderá en el aliviadero representa 6,5 veces el caudal medio diario.

$$Q_{máximo\ instantáneo} = \frac{Q_{medio\ diario} \times 6,5}{86400} \quad (39)$$

$$Q_{máximo\ instantáneo} = \frac{11,84\ m^3/d \times 6,5}{86400} \quad (40)$$

$$Q_{máximo\ instantáneo} = 0,000891\ m^3/s \quad (41)$$

2.6.1.1.3. Caudal del vertido

Según la metodología empleada por García & Corzo (2008) para el flujo de lluvia y agua residual que ingresan mezcladas al sistema, se empleó $0,1\ m^3/s$, mismo valor que se utilizó en este estudio por tratarse de una población pequeña.

$$Q_{vertido} = Q_{lluvia} - 6,5 \times Q_{medio\ por\ segundo} \quad (42)$$

$$Q_{vertido} = 0,1\ m^3/s - 6,5 \times 0,0001370\ m^3/s \quad (43)$$

$$Q_{vertido} = 0,09911\ m^3/s \quad (44)$$

2.6.1.1.4. Altura para caudal máximo instantáneo

Para el presente estudio se estableció que el ancho del canal sea de 0,55 m y una velocidad de agua de 0,9 m/s (García & Corzo, 2008).

$$P_{Q_{max.\ i}} = \frac{Q_{máximo\ instantáneo}}{V \times ancho} \quad (45)$$

$$P_{Q_{max.\ i}} = \frac{0,000891\ m^3/s}{0,9\ m/s\ \times 0,55\ m} \quad (46)$$

$$P_{Q_{max.\ i}} = 0,0018\ m \quad (47)$$

2.6.1.1.5. Altura para caudal de lluvia

$$P_{Q_{lluvia}} = \frac{Q_{lluvia}}{V \times ancho} \quad (48)$$

$$P_{Q_{lluvia}} = \frac{0,1\ m^3/s}{0,9\ m/s\ \times 0,55\ m} \quad (48)$$

$$P_{Q_{lluvia}} = 0,20\ m \quad (49)$$

2.6.1.1.6. Altura de evacuación del efluente residual

$$H_{evacuación} = P_{Q_{lluvia}} - P_{Q_{max.\ i}} \quad (50)$$

$$H_{evacuación} = 0,20\ m - 0,0018\ m \quad (51)$$

$$H_{evacuación} = 0,1982\ m \quad (52)$$

2.6.1.1.7. Caudal por metro lineal

$$Q_{por\ metro\ lineal} = 1,83 \times [1 - (0,2 \times H_{evacuación})] \times (H_{evacuación})^{1,5} \quad (53)$$

$$Q_{por\ metro\ lineal} = 1,83 \times [1 - (0,2 \times 0,1982\ m)] \times (0,1982\ m)^{1,5} \quad (54)$$

$$Q_{por\ metro\ lineal} = 0,1551\ m^3/s \bullet m \quad (55)$$

2.6.1.1.8. Longitud del vertedero

$$L_{vertedero} = \frac{Q_{vertido}}{Q_{por\ metro\ lineal}} \quad (56)$$

$$L_{vertedero} = \frac{0,09911\ m^3/s}{0,1551\ m^3/s \bullet m} \quad (57)$$

$$L_{vertedero} = 0,6390\ m \quad (58)$$

2.6.1.2. Canal de desbaste

En esta etapa se colocarán rejas gruesas para evitar que los sólidos más grandes ingresen al sistema. Igualmente, se deben colocar rejas finas para que los sólidos más pequeños que se introdujeron del proceso anterior, queden atrapados y no provoquen obstrucciones en los procesos posteriores. (García & Corzo, 2008) **(Tabla 10)**.

Tabla 10 | Valores convenientes para indicadores requeridos para diseñar canales de desbaste y rejas. Tomado de (Metcalf et al. 1991).

Características	Unidad	Reja de gruesos	Reja de finos
Modo de funcionamiento		Manual	Automático
Anchura de los barrotes	mm	> 12	> 6
Luz entre barrotes	mm	50 – 100	10 – 25
Pendiente en relación a la vertical	Grado sexagesimal	30 – 45	
Velocidad de aproximación	m/s	0,3 – 0,6	
Pérdida de carga admisible	m	0,15	0,15

2.6.1.2.1. Reja de gruesos

Este estudio escogió los siguientes valores:

Ancho de barrotes ($A_{barrotes}$) = 14 mm = 0,014 m

Luz entre barrotes ($l_{barrotes}$) = 55 mm = 0,055 m

Grado de Saturación (G) =40%

Pendiente = 45°

Ancho canal (A_{canal}) = 0,40 m

Velocidad de aproximación (v) = 0,45 m/s = 1620 m/h = 38880 m/d

2.6.1.2.2. Número de barrotes

Este valor se estimará según el número de espacios, cuya fórmula es:

$$n_{espacios} = \frac{A_{canal} + A_{barrotes}}{l_{barrotes} + A_{barrotes}} \quad (59)$$

$$n_{espacios} = \frac{0,40\ m + 0,014\ m}{0,055\ m + 0,014\ m} \quad (60)$$

$$n_{espacios} = 6 \quad (61)$$

Por lo tanto, hay una cantidad de 5 barrotes

2.6.1.2.3. Ancho útil de paso

$$W_{util} = (A_{canal} - n_{barrotes} \times A_{barrotes}) \times \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (62)$$

$$W_{util} = (0,40\ m - 5 \times 0,014\ m) \times \left(1 - \frac{40}{100}\right) \quad (63)$$

$$W_{util} = 0,198\ m \quad (64)$$

2.6.1.2.4. Caudal máximo diario

El valor de K_1 varía entre 1,2 – 1,5. El valor escogido para el presente estudio es de 1,35.

$$Q_{máx.\ diario} = K_1 \times Q_{medio\ diario} \quad (65)$$

$$Q_{máx.\ diario} = 0,35 \times 11,84\ m^3/d \quad (66)$$

$$Q_{máx.\ diario} = 4,144\ m^3/d \quad (67)$$

2.6.1.2.5. Caudal máximo horario

Se utilizó el valor de 2 recomendado por Llanos (2021) para el coeficiente de caudal máximo horario (K_2).

$$Q_{máx.\ horario} = K_2 \times Q_{máx.\ diario} \quad (68)$$

$$Q_{máx.\ horario} = 2 \times 0,1726\ m^3/h \quad (69)$$

$$Q_{máx.\ horario} = 0,3452\ m^3/h \quad (70)$$

$$\frac{0,37972\ m^3}{día} \times \frac{1\ día}{24\ h} = 0,014383\ m^3/h \quad (71)$$

2.6.1.2.6. Calado (h)

$$h = \frac{Q_{máx.\ horario}}{v} \times \frac{1}{W_{útil}} \quad (72)$$

$$h = \frac{0,014383\ m^3/h}{1620\ m/h} \times \frac{1}{0,198\ m} \quad (73)$$

$$h = 4,48\ m \quad (74)$$

2.6.1.2.7. Altura del total del canal

García & Corzo (2008) indican que se debe tener un respaldo de altura de 0,30 hasta 0,50 m. Este estudio consideró 0,50 m como altura total.

2.6.1.2.8. Longitud del canal

Para estimar este valor García & Corzo (2008) menciona que debe escoger un tiempo de permanencia entre 5 – 15 segundos. Para la presente investigación se utilizó el valor de 10 segundos.

$$L_{canal} = T_{retención} \times v \quad (75)$$

$$L_{canal} = 10\ s \times 0,45\ m/s \quad (76)$$

$$L_{canal} = 4,5\ m \quad (77)$$

2.6.1.2.9. Reja de finos

Valores para considerar:

Ancho útil (W_{util}) = 0,17 m

Grado de saturación (G) = 40%

Ancho de canal (A_{canal}) = 0,40 m

Ancho de barrotes ($A_{barrotes}$) = 5 mm = 0,005 m

Luz de barrotes ($l_{barrotes}$) = 17,5 mm = 0,0175 m

$$n_{espacios} = \frac{A_{canal} + A_{barrotes}}{l_{barrotes} + A_{barrotes}} \quad (78)$$

$$n_{espacios} = \frac{0{,}40\ m + 0{,}005\ m}{0{,}0175\ m + 0{,}005\ m} \quad (79)$$

$$n_{espacios} = 18 \quad (80)$$

Por lo tanto, se obtuvo un total de 17 rejas finas **(Figura 5 y 6)**.

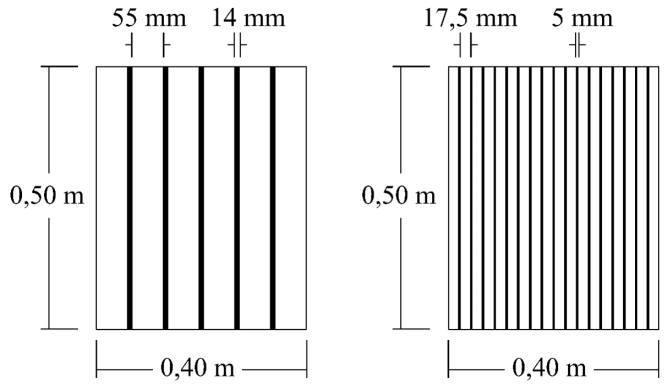


Figura 5 | Dimensionamiento de las rejas gruesas y finas, adaptada en Adobe Photoshop 2021

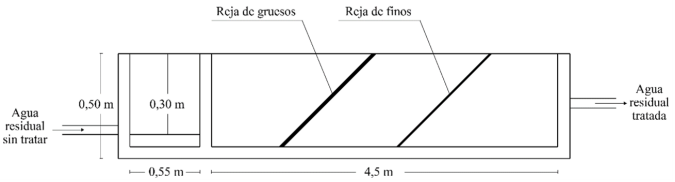


Figura 6 | Perspectiva lateral del aliviadero y el canal de desbaste, adaptada en Adobe Photoshop 2021

2.6.2. Tratamiento ecológico a través de un HAFSS horizontal

2.6.2.1. Dimensionamiento biológico

2.6.2.1.1. Volumen del humedal

Valores para considerar:

$L_{humedal}$ = 50 m

$A_{humedal}$ = 23 m

$H_{humedal}$ = 1 m, recomendada por Hernández & Martín (2023)

$$V_{humedal} = L_{humedal} \times A_{humedal} \times H_{humedal} \quad (81)$$

$$V_{humedal} = 50\ m \times 23\ m \times 1\ m \quad (82)$$

$$V_{humedal} = 1150\ m^3 \quad (83)$$

2.6.2.1.2. Tiempo de retención

$$t_{retención} = \frac{V_{humedal}}{Q_{medio\ diario}} \quad (84)$$

$$t_{retención} = \frac{1150\ m^3}{471{,}3984\ m^3/d} \quad (85)$$

$$t_{retención} = 2{,}44\ días \quad (86)$$

2.6.2.1.2. Superficie del humedal para remoción

En esta etapa para optimizar la remoción de los contaminantes, García & Corzo (2008) recomienda usar los siguientes valores para la constante cinética de primer orden (k_A):

Para remoción de DBO usar un valor de: 0,025 m/d

Para remoción de Fósforo usar un valor de: 0,0274 m/d

Para remoción de Nitrógeno usar un valor de: 0,025 m/d

De los 3 valores a estimar se considera la cantidad más grande para encontrar una óptima superficie de remoción **(Tabla 11 y 12) (Figura 7)**.

$$S_{humedal} = \frac{Q_{medio\ diario}}{k_A} \times \ln\left[\frac{C_0}{C_1}\right] \quad (87)$$

C_0 = Concentración del agua residual a la entrada del humedal

C_1 = Concentración expresada en los LMP de descarga

2.6.2.1.3. Carga orgánica superficial

$$C_s = \frac{Q_{medio\ diario} \times C_0}{S_{humedal}} \quad (88)$$

2.6.2.2. Dimensionamiento geométrico

2.6.2.2.1. Caudal

$$Q = k_S \times A_S \times s \quad (89)$$

k_S = Conductividad hidráulica ($m^3/m^2 \bullet s$)

A_S = Sección perpendicular del humedal (m^2)

s = Pendiente (m)

Tabla 11 | Valores asumidos para un humedal artificial de flujo subsuperficial. Tomado de (García & Corzo, 2008).

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo	Porosidad	Conductividad hidráulica
	D_{10} (mm)	(%)	KS ($m^3/m^2 \cdot d$)
Arenas graduadas	2	28 – 32	100 – 1000
Arenas gravosas	8	30 – 35	500 – 5000
Gravas finas	16	35 – 38	1000 – 10000
Gravas medianas	32	36 – 40	10000 – 50000
Rocas pequeñas	128	38 – 45	50000 – 250000

2.6.2.2.2. Sección perpendicular del humedal (m^2)

$$A_S = \frac{Q_{máx.\ diario}}{\frac{k_S}{f_S} \times s} \quad (90)$$

f_S = Coeficiente de seguridad

2.6.2.2.3. Longitud del humedal

$$L_{humedal} = \frac{S_{humedal}}{W_{humedal}} \quad (91)$$

Tabla 12 | Valores de porosidad para los diferentes sustratos. Tomado de (García & Corzo, 2008).

Tipo de medio	Tamaño efectivo d10 (mm)	Porosidad (n)
Arena gruesa	2	028 – 032
Arena – grava	8	0,30 – 0,35
Grava fina	16	0,35 – 0,38

$$TRH = \frac{n \times S_{humedal} \times h}{Q_{medio\ diario}} \quad (92)$$

n = Porosidad del sustrato

h = Profundidad (m)

2.6.2.2.4. Ecuación para calcular la concentración de salida en el efluente

$$C = \frac{C_0}{e^{\left(\frac{S_{humedal} \times k_A}{Q_{medio\ diario}}\right)}} \quad (93)$$



Figura 7 | Propuesta de ubicación del HAFSS horizontal en el área del Hospital Básico 17 BS. Adaptada en Google Earth

3. Resultados y discusión

En esta etapa se presentan las diferentes resoluciones que se han determinado a lo largo de este estudio y su respectiva discusión para evidenciar el potencial que obtuvo esta investigación con la información recolectada de algunos autores, así como la eficiencia de remoción que se logró con esta propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales o construidos y diagnosticar su factibilidad para el Hospital Básico 17 BS **(Tabla 13)**.

3.1. Caudal mínimo, medio y máximo obtenidos en el Hospital Básico 17 BS

Tabla 13 | Cálculo de los caudales estimados en el Hospital Básico 17 BS.

			7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	Promedio (m^3/s)
Semana 1	Lun.	8	0,0029	0,0028	0,0027	0,0017	0,0018	0,0019	0,0017	0,0021	0,002189
	Mar.	9	0,0027	0,0042	0,0032	0,0023	0,0028	0,0059	0,0062	0,0032	0,003815
	Mié.	10	0,0030	0,0024	0,0025	0,0024	0,0019	0,0019	0,0021	0,0018	0,002245
	Jue.	11	0,0019	0,0027	0,0028	0,0022	0,0016	0,0038	0,0018	0,0026	0,002429
	Vie.	12	0,0025	0,0018	0,0018	0,0024	0,0022	0,0018	0,0129	0,0143	0,004968
	Sáb.	13	0,0028	0,0038	0,0030	0,0027	0,0024	0,0026	0,0025	0,0035	0,002932
	Dom.	14	0,0016	0,0031	0,0020	0,0025	0,0029	0,0024	0,0024	0,0026	0,002449
Semana 2	Lun.	15	0,0030	0,0019	0,0017	0,0241	0,0152	0,0218	0,0158	0,0127	0,012024
	Mar.	16	0,0037	0,0057	0,0069	0,0052	0,0053	0,0046	0,0096	0,0335	0,009314
	Mié.	17	0,0049	0,0044	0,0042	0,0047	0,0041	0,0044	0,0042	0,0037	0,004350
	Jue.	18	0,0033	0,0031	0,0023	0,0023	0,0024	0,0025	0,0024	0,0028	0,002637
	Vie.	19	0,0033	0,0019	0,0028	0,0027	0,0021	0,0019	0,0017	0,0022	0,002334
	Sáb.	20	0,0089	0,0086	0,0078	0,0071	0,0064	0,0070	0,0133	0,0077	0,008358
	Dom.	21	0,0148	0,0153	0,0127	0,0256	0,0192	0,0162	0,0142	0,0127	0,016333
								PROMEDIO TOTAL DEL CAUDAL			**0,005456**

Caudal mínimo:

$$\frac{0,002189\ m^3}{s} \times \frac{1000\ L}{1\ m^3} = 2,19\ L/s \quad (94)$$

Caudal medio:

$$\frac{0,005456\ m^3}{s} \times \frac{1000\ L}{1\ m^3} = 5,46\ L/s = 471,3984\ m^3/d \quad (95)$$

Caudal máximo:

$$\frac{0,016333\ m^3}{s} \times \frac{1000\ L}{1\ m^3} = 16,33\ L/s \quad (96)$$

Las estimaciones empezaron desde el lunes 8 de enero hasta el 21 del mismo mes, un aforo cada hora durante 7 horas, un total de 2 semanas (14 días) con resultados en metros cúbicos sobre segundos, los cuales se procedió a transformarlos a litros sobre segundos. Los siguientes cálculos nos indican que el caudal mínimo, medio y máximo son 2,19 L/s, 5,46 L/s y 16,33 L/s respectivamente **(Tabla 14)**.

3.2. Resultados de los análisis de agua residual recolectada en el Hospital Básico 17 BS.

Tabla 14 | Resultados de la composición fisicoquímica del agua residual recolectada en el Hospital Básico 17 BS.

Parámetro	Unidad	Valor promedio	Límites máximos permisibles (LMP)
pH	adimensional	6,91	5-9
Temperatura	°C	22,8	< 40
Conductividad eléctrica	µS/cm	216,13	1000
Sólidos sedimentables	ml/L	0,1	20
Sólidos disueltos	mg/L	88	1000
Solidos Totales	mg/L	120,5	1600
Oxígeno disuelto	mg/L	6,35	6
Potencial de oxidación-reducción (ORP)	mV	366,17	< 200
Turbidez	NTU	10,07	100
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	3	500
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	8,9	250
Coliformes totales	NMP por cada 100 ml	100000	< 5000

De los parámetros analizados se ha podido determinar que la mayoría cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) Libro IV, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Cabe mencionar que el ORP no está establecido en esta normativa, y se optó por la revisión bibliográfica para obtener un valor que cumpla con la calidad de descarga. Chacha (2020) indica que este parámetro necesita estar entre 200 y 400 voltios para el desarrollo óptimo de los microorganismos. Por lo tanto, el ORP y los coliformes totales de la muestra son los únicos dos parámetros que no cumplen debido a que exceden los LMP establecidos en la normativa.

3.3. Especie seleccionada como fitorremediadora

3.3.1. Eficiencia de la especie Phragmites australis como agente de depuración.

Delgado & Rocha (2019) usando la *Phragmites australis* en un HAFSS horizontal, consiguieron una remoción de 57% en DBO; 54% en DQO; 99,9% en coliformes totales; 93% en turbiedad; 52% en oxígeno disuelto; 58% en conductividad y 60% en sólidos disueltos en un tiempo de retención de 15 días.

Hernández & Vargas (2021) realizaron el análisis físico-químico del agua residual que se descargó del HAFSS vertical, obtuvieron una remoción de 78,23% en DBO; 77,57% en sólidos totales; 89,52% en coliformes totales; 21,56% en temperatura y 4,82% en pH.

García et al. (2019) construyeron un HAFSS horizontal en dos tiempos de retención diferentes: el primero fue de 3 días, el cual obtuvo una remoción del 9,6% en Nitrógenos totales; 77,7% en fósforo; 13,4% en Boro y 36,3% en Cromo. El segundo fue de 7 días, el cual obtuvo una eficiencia menor de 1,4%; 66,4%; 10,8% y 23,5% en Nitrógenos totales, Fósforo, Boro y Cromo, respectivamente.

4. Conclusiones

Los caudales obtenidos en el aforo volumétrico permiten conocer el volumen de agua residual que puede ingresar al sistema de tratamiento ecológico, así como también establecer estrategias para un correcto mantenimiento y de esa manera construir adecuadamente los cimientos de los mecanismos de depuración.

Dentro de todos los parámetros evaluados, el potencial de oxidación-reducción (ORP) y los coliformes totales van de la mano al no cumplir con los límites permisibles, debido a que el ORP está en el rango óptimo de desarrollo bacteriano, mientras que los coliformes totales son la cantidad de colonias de microorganismos, por ende, requiere de un tratamiento afable con el medio ambiente para su remoción.

Se pudo constatar la eficacia de la especie *Phragmites australis* en la remoción tanto de manera orgánica como de metales pesados del medio ambiente, lo que demuestra la viabilidad de la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Contribuciones de los autores

Roberth Fabian Bautista Andy: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Jessy Paulina Guerrero Rubio: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

AGUILAR, K. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales para la comunidad de Charcay, provincia del Cañar (Ecuador), Universidad Politécnica de Valencia, 2019

BELTRAN, A., ESCUDERO, M., CÓRDOVA, S. AND ROSERO, C. Monitoreo microbiológico para la gestión ambiental de Aguas Residuales Hospitalarias. Ciencia Digital, 2019/09/10/ 2019, 2, no 3.4, págs. 342-353

CAICEDO, Y. AND DIAZ, C., Alternativa de diseño e implementación de humedal artificial para tratamiento complementario de aguas residuales en la PTAR del municipio de Lloró Departamento del Chocó. Universidad Católica de Colombia, 2022

CARDENAS, D., Desarrollo de un prototipo para el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial en la PTAR "Juan Velasco Alvarado" ubicado en el distrito de Villa El Salvador. Universidad Nacional de Lima Sur, 2019

CHACHA, A. Diseño de una planta de tratamiento de agua residual mediante procesos microbiológicos combinados en la Tenería Díaz Cia. Ltda. de la ciudad de Ambato, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 15/01/2021, 2020

DELGADO, P. AND ROCHA, W. Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviado generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*Phragmites australis*), Universidad Peruana Unión, 2019

GARCÍA, A. AND LUDIZACA, W. Diseño de un sistema de humedales

artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad del Tabacay, cantón Azogues, provincia de Cañar, Universidad de Cuenca, 2017

GARCÍA, A., MARTÍNEZ, S., TERRERO, M., FAZ, A., MUÑOZ, M., GÓMEZ, M. AND ACOSTA, J. Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola, COMPON-2019-agri-3439, 2019

GARCÍA, J. AND CORZO, A. Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, Universidad Politécnica de Catalunya, 2008

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON PASTAZA, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Pastaza 2020-2030, 2020

HAFEZ., F., IDRIS, M., SHEIKH, S., BUDI, S. AND FAUZUL, M. Effect of wastewater depth to the performance of short-term batching-experiments horizontal flow constructed wetland system in treating domestic wastewater, Environmental Tecnology & Innovation, 2020, 20

HERNÁNDEZ, J. AND VARGAS, D. Eficiencia entre *Schoenoplectus californicus* y *Phragmites australis*, mediante diseños de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales, AgroVictoria, Ica, 2021, Universidad César Vallejo, 2021

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5, Parte 9.2:1997 Primera Edición, 1997

LEÓN, J., GODOY, S. AND MIGUEZ, R. Evaluación de la calidad de las aguas residuales hospitalarias y diseño de una planta de tratamiento para un Hospital General. Revista Imaginario Social, 2023/07/07/, 2023, 6, no 3

LLANOS, D. Determinación de los coeficientes reales de variación de consumo diario (K1) y horario (K2) para mejorar futuros diseños de obras de saneamiento del sub sector 24 de la ciudad de Tacna, Universidad Privada de Tacna, 2021

METCALF, L., EDDY, H. AND TCHOBANOGLOUS, G. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. New York: McGraw-Hill, 1991

MINISTERIO DE AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA, Resolución No. MAE-DPAP-037-2016, Dirección Provincial de Pastaza, 29/12/2016, 2016

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado, 2005

RAMALHO, R. Introducción a los procesos de tratamiento de aguas residuales, Editorial Reverté S. A. 1990, 2

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE TIERRAS RURALES E INFRAESTRUCTURAS TECNOLOGICAS – MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, Mapa de Suelos del Ecuador Continental (Variable Textura), Escala 1:250000, 2020

TELLEZ-CARRASQUILLA, S., RODRIGUEZ, E. AND JIMENEZ, N. Alta frecuencia de bacilos Gram negativos de importancia clínica resistentes a betalactámicos en efluentes de aguas residuales hospitalarias. Infectio, 2023/04/23/ 2023, 27, no 2, págs. 78-85