

Evaluación de la calidad de las aguas residuales hospitalarias y diseño de una planta de tratamiento para un Hospital General

Evaluation of hospital wastewater quality and design of a treatment plant for a General Hospital.

José Gerardo León Chimbolema

Doctor en Química

Docente investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

gerardo.leon@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Sofía Carolina Godoy Ponce

Ingeniera en Biotecnología Ambiental

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

sofia.godoy@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Rogel Alfredo Miguez Paredes

Ingeniero en Sistemas Informáticos

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

rmiguez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5063-1474>

Resumen

El estudio se centró en la evaluación de la calidad del agua residual hospitalaria y el diseño de una planta de tratamiento para un Hospital General. Se analizaron diversas propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua, encontrando que varios parámetros superaron los límites permitidos. Se identificó una carga contaminante



Imaginario Social

Entidad editora

REDICME (reg-red-18-0061)

e-ISSN: 2737-6362

julio-diciembre 2023 Vol. 6-3-2023

[http://revista-](http://revista-imaginariosocial.com/index.php/es/index)

[imaginariosocial.com/index.php/es/index](http://revista-imaginariosocial.com/index.php/es/index)

Recepción: 30 de mayo 2023

Aceptación: 22 de junio 2023

91-114

Atribución/Reconocimiento-NoComercial- CompartirIgual 4.0 Licencia Pública Internacional — CC

BY-NC-SA 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.es>

significativa que requería medidas de tratamiento y control adecuadas para preservar el medio ambiente. Se propuso un diseño de planta de tratamiento que incluye un sistema de coagulación-floculación y sedimentación para eliminar eficientemente los contaminantes. Se realizaron pruebas de tratabilidad que confirmaron la viabilidad técnica del proyecto y su capacidad para lograr una alta eficiencia en la remoción de contaminantes. Además, se consideró la disposición final de los lodos producidos en la planta y se sugirió su uso como fertilizante agrícola. Los resultados obtenidos demostraron la efectividad del tratamiento en la mejora de la calidad del agua residual y su impacto positivo en el medio ambiente.

Palabras clave: Aguas residuales hospitalarias, evaluación de calidad, planta de tratamiento, parámetros, carga contaminante

Abstract

The study focused on the evaluation of hospital wastewater quality and the design of a treatment plant for a General Hospital. Various physical, chemical and microbiological properties of the water were analyzed, finding that several parameters exceeded the allowable limits. A significant contaminant load was identified that required adequate treatment and control measures to preserve the environment. A treatment plant design was proposed that included a coagulation-flocculation and sedimentation system to efficiently remove contaminants. Treatability tests were conducted to confirm the technical feasibility of the project and its ability to achieve high contaminant removal efficiency. In addition, the final disposal of the sludge produced in the plant was considered and its use as an agricultural fertilizer was suggested. The results obtained demonstrated the effectiveness of the treatment in improving the quality of the wastewater and its positive impact on the environment.

Key words: Hospital wastewater, quality assessment, treatment plant, parameters, pollutant load.

Introducción

El tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, comparte objetivos comunes que incluyen la eliminación de contaminantes, el cumplimiento de

normativas ambientales, la adaptación para otros usos, la prevención de daños ambientales y la mejora de la calidad de vida de las personas.

Aunque las aguas residuales hospitalarias representan un vertido químico importante, no son las únicas fuentes de contaminación. Además, debido a la ineficacia de los sistemas convencionales para eliminar residuos farmacéuticos, es común encontrar trazas de medicamentos en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Determinar si estos residuos provienen de hospitales conectados a la red de alcantarillado o de otros usuarios puede resultar difícil (Fúquene & Yate, 2018).

Debido al rápido crecimiento de la población, el tratamiento se ha convertido en un problema de gran magnitud que afecta al medio ambiente y provoca problemas significativos de contaminación (Avalos et al., 2021).

Si las aguas residuales hospitalarias no se tratan adecuadamente, pueden representar un riesgo para la salud humana debido a la presencia de bacterias resistentes a los antibióticos y otras bacterias patógenas. El agua superficial puede facilitar la propagación de enfermedades, y las bacterias resistentes a los antibióticos tienen el potencial de evolucionar, multiplicarse y extenderse, dificultando su tratamiento en el futuro (Da Nóbrega & Fumi Chim, 2021).

Las aguas residuales se descargan comúnmente en sistemas de alcantarillado público o directamente en cuerpos de agua dulce como ríos o arroyos. Sin embargo, debido a la escasez de agua, su capacidad de dilución se reduce significativamente, lo cual está influenciado por diversos factores ambientales y humanos. Es esencial tomar medidas para garantizar que las aguas residuales hospitalarias se traten de manera adecuada y se eviten efectos adversos en el medio ambiente y la salud pública. Esto podría implicar la actualización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para abordar específicamente las aguas residuales hospitalarias, o la implementación de plantas de tratamiento de aguas en cada hospital, como se propone en este estudio.

En general, las instituciones de salud requieren una gran cantidad de recursos hídricos para su correcto funcionamiento, lo cual puede tener efectos negativos en el medio ambiente. En las últimas décadas, la Organización Mundial de la Salud ha dirigido su atención hacia la investigación de la contaminación generada por los hospitales y su

posible conexión con el cambio climático. Aunque hasta el momento no se ha demostrado un impacto significativo por parte del sector de la salud, existe una sospecha considerable sobre su trascendencia en este ámbito (OMS, 2022).

En este sentido, el tratamiento de aguas residuales en hospitales es una preocupación importante debido a la presencia de contaminantes y su impacto en la salud humana y el medio ambiente. En las últimas décadas, se han realizado diversos estudios y avances en la implementación de sistemas de tratamiento efectivos para abordar las aguas residuales generadas por las instalaciones hospitalarias.

Un estudio realizado por Herrera Díaz (2022) destacó que las aguas residuales hospitalarias contienen una amplia gama de contaminantes, como productos farmacéuticos, metales pesados, productos químicos y microorganismos patógenos. Estos contaminantes pueden tener efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana si no se gestionan adecuadamente.

Investigaciones más recientes han demostrado la presencia de bacterias resistentes a los antibióticos en las aguas residuales hospitalarias (García Calvo, 2019; Herrera Díaz, 2022). Estas bacterias pueden ser especialmente problemáticas, ya que pueden propagar la resistencia a los antibióticos y dificultar el tratamiento de enfermedades infecciosas.

En términos de métodos de tratamiento, los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales municipales no son adecuados para eliminar completamente los contaminantes presentes en las aguas residuales hospitalarias. Estos sistemas se centran en la eliminación de contaminantes orgánicos y la desinfección, pero no son eficaces para eliminar productos farmacéuticos y compuestos químicos (Alfárez Rivas, 2019).

Diversas tecnologías de tratamiento han sido propuestas y estudiadas para abordar los desafíos específicos de las aguas residuales hospitalarias. Entre ellas se incluyen la desinfección avanzada mediante procesos de oxidación avanzada, la adsorción en carbón activado, la ozonización y la utilización de tecnologías de membrana como la microfiltración y la ósmosis inversa (Moreno Angosto, 2021).

Además, algunos estudios han investigado la viabilidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales a nivel de hospital. Estos sistemas permitirían tratar las aguas directamente en el lugar de generación, evitando la descarga de contaminantes al sistema de alcantarillado municipal (Majumder et al., 2021; Tech, 2019). Sin embargo, estos enfoques pueden presentar desafíos técnicos y económicos, especialmente para instalaciones hospitalarias más pequeñas.

Bajo esta perspectiva, este artículo presenta el proyecto llevado a cabo para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales hospitalarias mediante la comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Metodología

Se adoptó un enfoque descriptivo y cuantitativo que se centró en el dimensionamiento del sistema de aguas residuales. Se describieron las propiedades, características y procesos necesarios para el tratamiento de las aguas residuales, omitiendo los aspectos geotécnicos relacionados con el terreno donde se construirá la planta de tratamiento. Igualmente, se recolectaron y analizaron datos de la calidad del agua residual. Se consideraron parámetros físicos, químicos y microbiológicos para determinar el tratamiento adecuado de las aguas residuales. Estos datos se compararon con los límites establecidos por la normativa ecuatoriana vigente.

En términos del diseño de la investigación, se utilizó un enfoque no experimental, ya que no se realizaron manipulaciones de variables durante el estudio. La aplicación se centró en la implementación técnica en el campo, presentando una propuesta sólida y potencialmente factible para eliminar la contaminación y minimizar su impacto negativo en el medio ambiente.

En el estudio, se empleó el método volumétrico para medir el caudal de agua. Este método consiste en enviar el caudal a un tanque impermeable de volumen conocido y calcular el tiempo total de llenado del tanque. Se utilizó la fórmula

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q: caudal (L/s)

V: Volumen del agua (L)

t: tiempo (s)

El muestreo se realizó en el punto de descarga de las aguas residuales del hospital, ubicado al noreste del hospital. Se utilizaron equipos y materiales como guantes, mandil, mascarilla, botas de caucho, casco, cámara fotográfica, balde plástico, cronómetro, flexómetro y GPS.

Para garantizar una medición precisa del caudal promedio, se tomaron mediciones cada hora durante cuatro días consecutivos, desde las 8:00 a.m. hasta las 4:00 p.m. Esto permitió obtener una estimación representativa del caudal promedio.

Se siguió un procedimiento que incluyó la detección y georreferenciación del sitio, la medición del recipiente, el llenado del recipiente con agua residual y el registro del tiempo de llenado.

Para el muestreo del agua residual, se utilizó un procedimiento de muestreo no probabilístico basado en las recomendaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana. Las muestras fueron etiquetadas y conservadas adecuadamente antes de su transporte y entrega.

Se realizaron pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual en un laboratorio, donde se analizaron diferentes parámetros como aceites y grasas, aluminio, arsénico total, bicarbonatos, cobre, coliformes fecales, entre otros.

Se identificaron los parámetros que no cumplían con los límites permitidos y se compararon con los límites especificados en la normativa ambiental vigente.

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizaron bases de diseño como el estándar CO 10.7 - 602, se consideró un período de diseño de 20 años y se proyectó la población futura utilizando el método geométrico.

Se calculó el caudal de diseño teniendo en cuenta el caudal medio diario, el caudal de infiltración, el caudal de conexiones erradas y el caudal máximo diario.

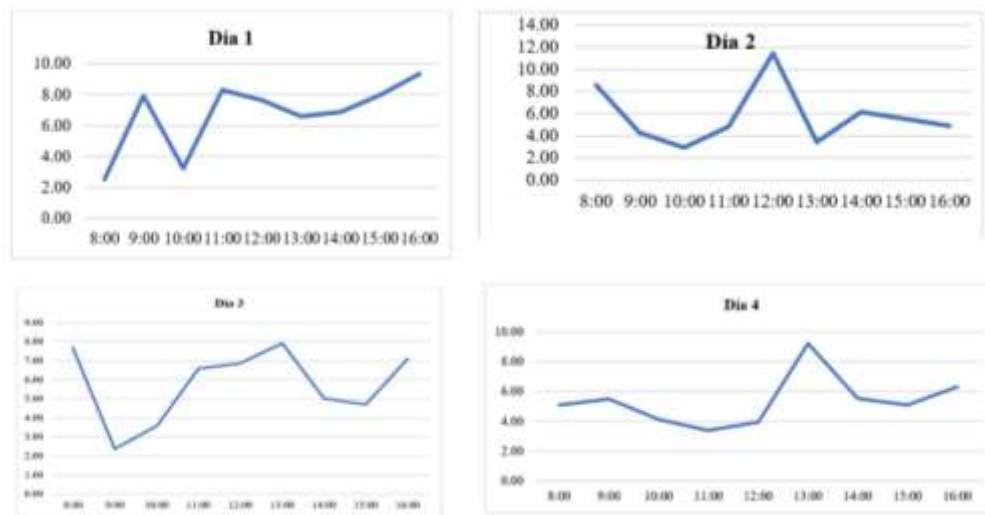
Se evaluó la tratabilidad del agua residual mediante el índice de biodegradabilidad y se realizó la prueba de jarras para determinar las dosis óptimas de coagulante y floculante.

Se determinó la eficiencia de remoción del tratamiento y se calculó la carga contaminante antes y después del tratamiento.

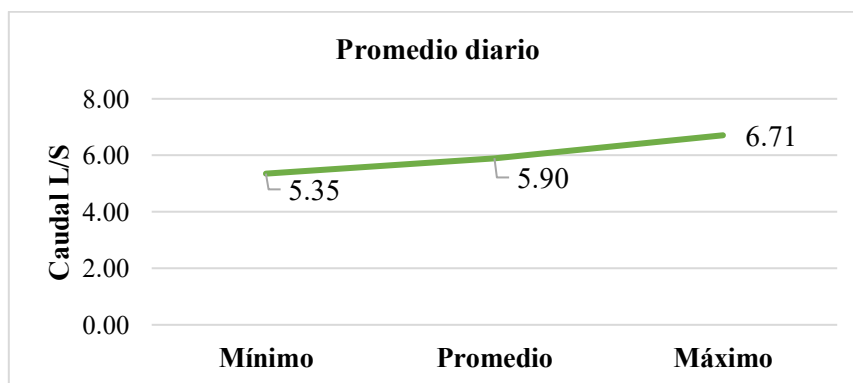
Se seleccionó el tren de tratamiento adecuado y se elaboraron planos utilizando el programa AUTOCAD. Por último, se realizó una evaluación económica basada en estudios similares para estimar el impacto económico de la implementación del sistema de tratamiento.

Resultados

Según los resultados del monitoreo, se observó una variación significativa en el flujo de aguas residuales del hospital durante el primer día. El caudal alcanzó su punto máximo a las 16:00 horas, registrando 9,36 L/s, mientras que el mínimo se presentó a las 8:00 horas con 2,49 L/s. El caudal promedio durante ese día fue de 6,71 L/s, lo que sugiere una carga constante en el sistema de tratamiento. En el transcurso del segundo día de monitoreo, se detectó una fluctuación en el flujo de aguas residuales del hospital. El caudal alcanzó su valor más alto a las 12:00 horas, registrando 11,44 L/s, mientras que el mínimo se observó a las 10:00 horas con 2,94 L/s. El caudal promedio durante ese día fue de 5,77 L/s, ligeramente inferior al promedio del día anterior. Durante el tercer día de monitoreo, se evidenció una variación en el flujo de aguas residuales del hospital. El valor máximo se registró a las 13:00 horas con 7,92 L/s, mientras que el mínimo fue a las 9:00 horas con 2,37 L/s. El caudal promedio durante ese día fue de 5,76 L/s, manteniéndose similar al promedio del día anterior. En el cuarto día de monitoreo, se sigue evidenciando una fluctuación significativa en el caudal de las aguas residuales del hospital, con un promedio de 5,35 L/s. Se destaca que a las 13:00 se alcanzó el valor máximo de 9,2 L/s, mientras que a las 11:00 se registró el valor mínimo de 3,4 L/s. Estos resultados sugieren que el caudal de las aguas residuales hospitalarias puede experimentar variaciones importantes a lo largo del día.

Gráfico 1: Caudales (L/s) obtenidos por día

Fuente: Investigadores, 2023

Gráfico 2: Caudal mínimo, promedio y máximo (L/s), Promedio diario

Fuente: Investigadores, 2023

Los datos recopilados del caudal promedio diario de agua residual hospitalaria revelan una tendencia estable durante el período de medición, con un valor mínimo de 5,35 L/s, un promedio de 5,90 L/s y un máximo de 6,71 L/s. Es relevante considerar que los caudales de agua residual hospitalaria pueden experimentar amplias variaciones debido a diversos factores, tales como prácticas médicas, fluctuaciones en la demanda de agua y la utilización de tecnologías médicas avanzadas.

La validación de los caudales es de vital importancia para asegurar la exactitud y fiabilidad de las mediciones. En este caso, se han obtenido dos valores de caudal: uno experimental y otro teórico, calculado mediante ecuaciones de diseño basadas en los datos actuales del hospital. Comparar ambos valores es esencial para comprobar la precisión del caudal teórico y evaluar la calidad de las mediciones experimentales.

Al realizar la comparación, se observa que el caudal promedio experimental de 5,90 L/s es ligeramente inferior al caudal teórico de 6,22 L/s. No obstante, es fundamental tener en cuenta que existen factores que pueden afectar la exactitud de las mediciones experimentales, como las condiciones ambientales y los errores de medición. A pesar de ello, la diferencia entre los valores es relativamente pequeña y puede considerarse aceptable en términos de validez.

Asimismo, La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las cuatro muestras de efluentes recolectados del sitio de descarga del Hospital General Ambato al alcantarillado.

Tabla 1: Resultados de la caracterización del agua residual

Parámetros	Expresado como	Unidad	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	42,28	43,27	25	5,85
Aluminio	Al	mg/L	0,009	0,009	0,007	0,007
Arsénico total	As	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,001
Bario	Ba	mg/L	4,16	6,25	1,96	1,93
Bicarbonatos	HCO ₃	mg/L	2,56	10,96	8,64	3,68
Boro	B	mg/L	3,91	4,93	2,36	2,08
Cadmio	Cd	mg/L	0,008	0,009	0,007	2,08
Carbonatos	CO ₃	mg/L	1,34	4,97	3,67	1,84
Cianuro	CN ⁻	mg/L	0,009	0,009	0,008	0,006
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	745,93	1105	843,07	250,6

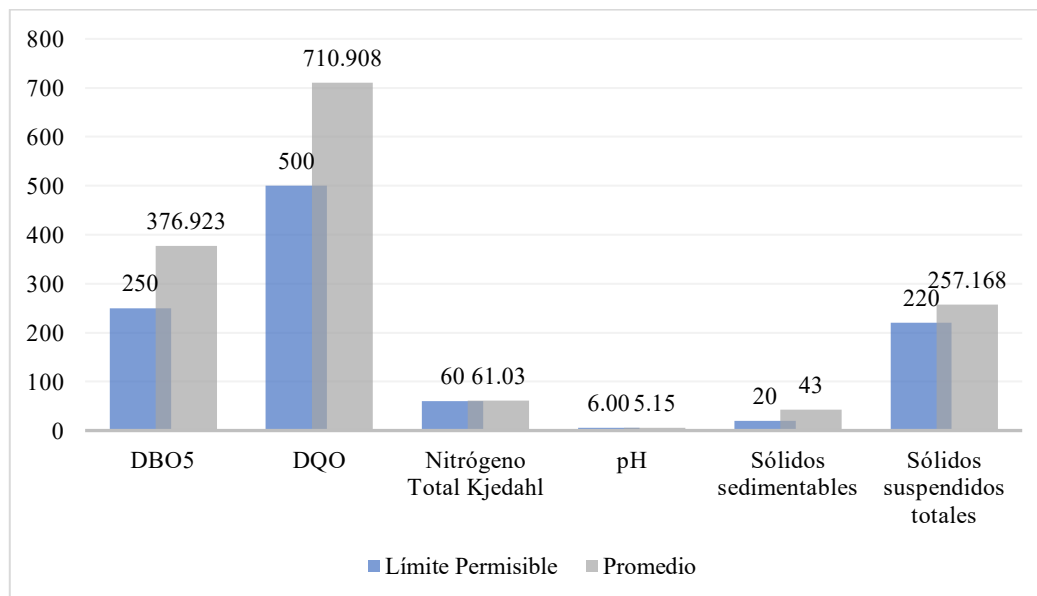
Cobalto	Co	mg/L	0,008	0,009	0,007	0,005
Cobre	Cu	mg/L	0,007	0,007	0,005	0,005
Coliformes fecales	NMP	NMP/10 o	2500	5000	1300	58
Coliformes totales	NMP	NMP/10 o	3200	7020	2400	70
Color		PtCo	55	100	45	20
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0,19	0,23	0,21	0,14
DBO ₅		mg/L	341,08	682,69	373,64	110,28
DQO		mg/L	672,96	1240	685,04	245,6 3
Estaño	Sn	mg/L	0,38	0,4	0,25	0,16
Fluoruros	F	mg/L	5,96	7,64	6,27	4,93
Fósforo total	P-PO ₄	mg/L	12,65	13,67	12,34	20,68
Hierro total	Fe	mg/L	14,67	20,69	16,68	11,34
Manganeso total	Mn	mg/L	2,58	5,96	3,67	2,96
Níquel	Ni	mg/L	0,008	0,009	0,008	0,006
Nitrógeno Amoniacal	NG ₃ -N	mg/L	2,64	1,97	0,93	0,59
Nitrógeno Total Kjedahl		mg/L	59,53	96	52,63	35,96
Oxígeno Disuelto	OD		0,98	0,99	0,91	0,85
Plata	Ag	mg/L	0,008	0,009	0,006	0,007
Plomo	Pb	mg/L	0,007	0,008	0,007	0,006
Potencial de Hidrógeno	pH		5,63	4,56	4,93	5,48
Sólidos sedimentables	SD	mg/L	25	74	58	15
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	258,36	327,29	358,02	85
Sólidos totales	ST	mg/L	100,2	2022	943,17	850
Sulfatos	SO ₄	mg/L	44	50	45	40
Temperatura		°C	16,99	16,99	16,99	16,99
Tensoactivos		mg/L	1,93	1,71	0,74	30
Zinc	Zn	mg/L	1,93	1,94	0,93	0,94

Fuente: Investigadores, 2023

La validación de los caudales es de vital importancia para asegurar la exactitud y fiabilidad de las mediciones. En este caso, se han obtenido dos valores de caudal: uno experimental y otro teórico, calculado mediante ecuaciones de diseño basadas en los datos actuales del hospital. Comparar ambos valores es esencial para comprobar la precisión del caudal teórico y evaluar la calidad de las mediciones experimentales.

Al realizar la comparación, se observa que el caudal promedio experimental de 5,90 L/s es ligeramente inferior al caudal teórico de 6,22 L/s. No obstante, es fundamental tener en cuenta que existen factores que pueden afectar la exactitud de las mediciones experimentales, como las condiciones ambientales y los errores de medición. A pesar de ello, la diferencia entre los valores es relativamente pequeña y puede considerarse aceptable en términos de validez.

Gráfico 3: Parámetros que no cumplen con la normativa ambiental vigente



Fuente: Investigadores, 2023

Según el gráfico 3 parámetros del agua residual del hospital no cumplen con la normatividad establecida: DBO5: 376,923 mg/L, DQO: 710,908 mg/L, Nitrógeno Kjeldahl Total: 61,030 mg/L, pH: 5,150, Sólidos sedimentables: 43,000 mg/L y Sólidos

suspendidos totales: 257,168 mg/L. En cambio, los demás parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permitidos por las regulaciones ambientales mencionadas. Las aguas residuales hospitalarias se generan en diversos departamentos del hospital, como salas, quirófanos, laboratorios, salas clínicas y lavandería, lo que provoca una composición muy variable dependiendo de las actividades involucradas. Los resultados obtenidos son coherentes con estudios anteriores, ya que Anwar (2019, pp. 5-6) menciona que los contaminantes comunes en las aguas residuales hospitalarias son DBO₅, DQO, SS y SST, los cuales generalmente tienen niveles más altos que las aguas residuales municipales.

A su vez, el gráfico anterior, muestra que la cantidad de DBO₅ que se obtuvo es superior en un 50,77% al valor de 250 mg/L permitido en la normativa ambiental.

Con respecto al DQO, El porcentaje analizado se encuentra un 42,18% por encima del límite permitido de 500 mg/L establecido en la normativa ambiental.

Con respecto al Nitrógeno Total Kjeldahl El valor de este parámetro supera el límite de 60 mg/L permitido en un 1,72% . En lo que respecta al pH, se define como una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El valor obtenido es un 14,67% inferior al límite establecido de 6.

Sólidos sedimentables: Este parámetro excede en un 115% el valor establecido de 20 mg/L según la normativa ambiental, lo que lo convierte en el parámetro que más incumple dicha normativa.

Sólidos suspendidos totales: El valor de este parámetro es un 16,87% mayor que el límite permitido de 220 mg/L establecido en la normativa.

Tras los resultados de la caracterización, se calculó el índice de biodegradabilidad para determinar el nivel de biodegradabilidad del agua residual.

$$I_{\text{BIOD}} = \frac{376,923}{710,908}$$

$$I_{\text{BIOD}} = 0,530$$

El agua residual del Hospital General Ambato presenta una biodegradabilidad promedio, como se refleja en la relación DBO/DQO de 0,530. Este valor indica que es posible aplicar un tratamiento químico o físico para su purificación, y en este estudio se ha optado por el tratamiento físico-químico.

Prueba de jarras

Los resultados de la prueba de jarras realizada por el Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G. se presentan en la siguiente tabla

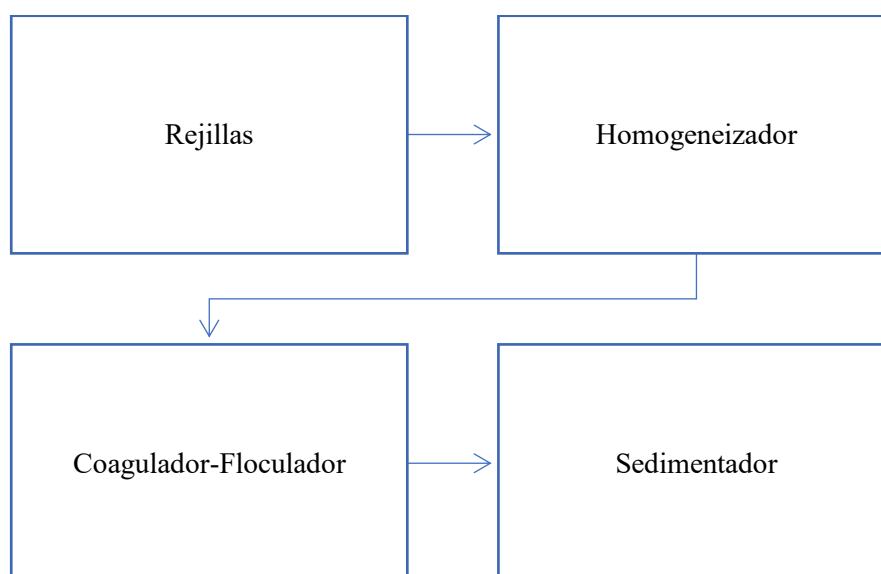
Tabla 2: Resultado de la prueba de jarras

Concentración (mg/L)		Dosis (mL)		Turbiedad (NTU)		% Remoción
PAC	CHEMFLOC	PAC	CHEMFLOC	Inicial	Final	
0,02	0,009	5	2,5	250,65	120,05	52,10
0,02	0,009	10	5	250,65	70,83	71,74
0,02	0,009	15	7,5	250,65	3,58	98,57
0,02	0,009	20	10	250,65	62,34	75,13
0,02	0,009	25	12,5	250,65	100,09	60,07

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G.

Diseño de la PTAR

Gráfico 4: Tren de tratamiento



Fuente: Investigadores, 2023

Se propone un pretratamiento que consta de dos componentes: un sistema de rejilla manual y un homogeneizador. Las rejillas manuales son adecuadas para eliminar partículas mayores de 100 μm . El homogeneizador se implementa para amortiguar los cambios de caudal y estabilizar el pH del efluente, especialmente útil cuando el agua residual es esporádica y el volumen es bajo.

Como tratamiento primario, se considera el sistema de coagulación-floculación, que es ideal para la clarificación y elimina la mayoría de los sólidos en suspensión. Además, este proceso de coagulación también remueve la turbidez orgánica e inorgánica (DBO y DQO), el color verdadero y aparente, algunos patógenos bacterianos y ciertos compuestos que causan mal olor y sabor.

Finalmente, se recomienda un sistema de sedimentación como tratamiento secundario, permitiendo que los flóculos formados en la etapa anterior se depositen por gravedad al fondo del tanque, logrando así la clarificación y eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual.

Base de diseño

Para calcular la proyección poblacional del hospital en los próximos 20 años, se empleó una ecuación. Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa sobre el número estimado de personas que serán atendidas y la disponibilidad de camas durante ese período de tiempo.

$$Pt = 262.827 \left(1 + \frac{1,01}{100}\right)^{20}$$

$$Pt = 321.334 \text{ afiliados}$$

Se estima que para 2042, el hospital atenderá a 321.334 pacientes.

En relación a la disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento, se seguirán las directrices establecidas por la autoridad sanitaria competente. La opción principal es disponerlos en un relleno sanitario autorizado, para cumplir con las normativas pertinentes.

No obstante, también se evaluará la posibilidad de utilizar los lodos como fertilizante en cultivos agrícolas, siempre que cumplan con los estándares y requisitos

establecidos. Esto requerirá una caracterización exhaustiva de los lodos, incluyendo su contenido de nutrientes y metales pesados.

En cuanto al mantenimiento de la planta de tratamiento y de los lodos, se seguirá el protocolo descrito en el Manual de Operación y Mantenimiento de la planta de aguas residuales (Rojas-Morales et al., 2016). Esto implica la limpieza y retiro de los lodos de forma semanal, asegurando que tengan una humedad inferior al 85% para una disposición final óptima y minimizando los impactos ambientales.

Resumen del dimensionamiento de cada equipo

Tabla 3: Dimensión del sistema de rejillas

Parámetro	Valor	Unidad
Área libre del paso del agua	0,012	m ²
Altura del tirante	0,024	M
Ancho	0,5	M
Altura del canal	0,20	M
Longitud de barras	0,30	M
Número de barras	11	M
Pérdida de carga	0,007	M

Fuente: Investigadores, 2023

Tabla 4: Dimensión del homogeneizador

Parámetro	Valor	Unidad
Área	11,95	m ²
Diámetro	3,9	M
Altura	1,5	M
Volumen	23,9	m ³
Mezclador		
Diámetro impulsor	1,3	m-
Altura impulsor	1,3	M
Ancho paleta	0,26	M

Longitud palas	0,33	M
Longitud de palas montadas al disco central	0,17	m
Diámetro del disco central	0,33	M
Número de deflectores	4	-
Ancho de deflectores	0,13	M
Potencia	2,2	Hp

Fuente: Investigadores, 2023

Tabla 5: Dimensión del tanque coagulador-floculador

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	12,43	m ³
Diámetro de mezcla	2,40	M
Profundidad de la cámara de mezcla	3,00	M
Diámetro de turbina	0,8	M
Ancho de los deflectores	0,1	M
Dimensión de las paletas		
Longitud	0,20	M
Alto	0,20	M
Ancho	0,16	M
Diámetro del disco central	0,66	M
Altura del impulsor	0,8	M
Potencia	5	Hp
Velocidad de rotación	31,8	Rpm

Fuente: Investigadores, 2023

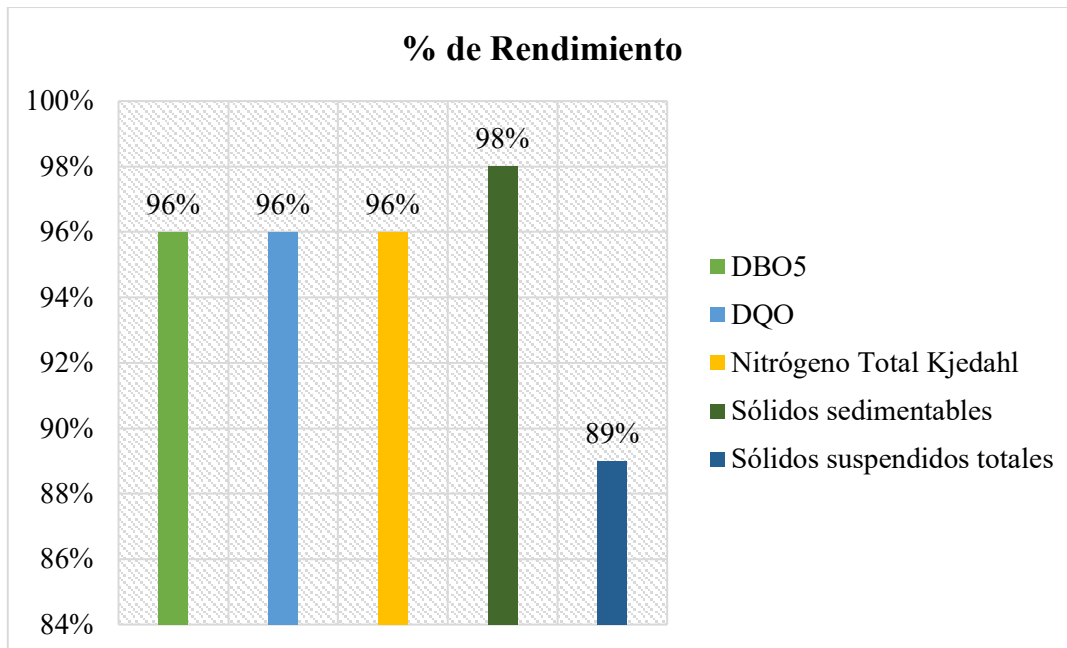
Tabla 6: Dimensión del sedimentador circular

Parámetro	Valor	Unidad
Área superficial	11,94	m ²
Diámetro	3,90	M
Radio	2,00	M
Volumen	35,82	m ³
Altura útil	3,00	M
Altura de la zona de lodos	0,15	M
Reparto central	1	M
Altura de reparto	0,75	M
Tiempo de retención hidráulica	1,44	H

Fuente: Investigadores, 2023**Tabla 7:** Comparación del agua residual con el agua tratada

Parámetros	Unidad	Criterio de calidad	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada	% de Rendimiento
DBO ₅	mg/L	250	376,923	14,02	96%
DQO	mg/L	500	710,908	27,79	96%
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	60	61,03	2,17	96%
Potencial de Hidrógeno		6-7	5,15	6,98	-
Sólidos sedimentables	mg/L	20	43	0,82	98%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	220	257,168	27,13	89%
Coliformes fecales	NMP/100	-	2214,500	Ausencia	Cumple
Coliformes totales	NMP/100	-	3172,500	Ausencia	Cumple

Fuente: Investigadores, 2023

Gráfico 5: Porcentaje de rendimiento del tratamiento

Fuente: Investigadores, 2023

En la tabla 7 se puede observar que al examinar el agua residual que se obtiene al finalizar los ensayos de tratamiento, los valores problemáticos se encuentran por debajo del límite máximo de la normativa ambiental vigente.

El gráfico 5 muestra que se obtuvo un porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos de 89%, de los sólidos sedimentables de 98%, de DQO de 96%, de DBO5 de 96%, de nitrógeno total de 96%, además se verificó que el pH se estabilizó a un valor neutro, finalmente, aunque no se encontraba fuera de los límites, se verificó la ausencia de coliformes fecales y totales.

Carga contaminante del agua residual

Después del tratamiento, se logró una reducción significativa en los parámetros de carga contaminante del agua residual hospitalaria. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se redujo de 1344,98 kg/semana a 48,03 kg/semana, lo que indica una eficiente remoción de materia orgánica. La Demanda Química de Oxígeno (DQO)

se redujo de 2536,75 kg/semana a 95,20 kg/semana, demostrando la eliminación de sustancias químicas y compuestos orgánicos. El nitrógeno total Kjeldahl disminuyó de 217,77 kg/semana a 7,43 kg/semana, reflejando la efectividad en la remoción de compuestos nitrogenados. Los sólidos sedimentables disminuyeron de 153,44 kg/semana a 2,87 kg/semana, evitando obstrucciones en los sistemas de alcantarillado. Además, los sólidos suspendidos totales se redujeron de 917,66 kg/semana a 86,16 kg/semana, mejorando la claridad y calidad del agua tratada. Estos resultados confirman el éxito del tratamiento en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua residual.

Tabla 8: Carga contaminante del agua residual y el agua tratada

Parámetros	Unidad	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada
DBO ₅	Kg/semana	1344,98	48,03
DQO	Kg/semana	2536,75	95,20
Nitrógeno Total Kjeldahl	Kg/semana	217,77	7,43
Sólidos sedimentables	Kg/semana	153,44	2,87
Sólidos suspendidos totales	Kg/semana	917,66	86,16

Fuente: Investigadores, 2023

Conclusiones

El análisis del agua residual del hospital reveló que varios parámetros excedieron los límites permitidos en la normativa. Los resultados mostraron valores preocupantes, como un pH de 5.15, una DBO₅ de 376.923 mg/L, una DQO de 710.908 mg/L, un nitrógeno total Kjeldahl de 61.03 mg/L, sólidos sedimentables de 43 mg/L y sólidos suspendidos totales de 257.168 mg/L, indicando una carga contaminante significativa. Para proteger el medio ambiente, se requiere implementar medidas de tratamiento y control adecuadas para mejorar la calidad del agua.

Se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales para el Hospital General Ambato, utilizando cálculos de ingeniería y criterios de diseño. La planta incorpora

diferentes componentes, como rejillas de limpieza manual, tanque de homogeneización, tanque de coagulación-floculación y un sedimentador convencional circular. Los ensayos demostraron que la planta puede eliminar eficazmente el 89% de los sólidos en suspensión, el 98% de los sólidos sedimentables, el 96% de la DQO, el 96% de la DBO₅ y el 96% del nitrógeno total. Los resultados de la carga contaminante después del tratamiento mostraron una disminución significativa, con valores de 48.03 kg/semana para la DBO₅, 95.20 kg/semana para la DQO, 7.43 kg/semana para el nitrógeno total, 2.87 kg/semana para los sólidos sedimentables y 86.16 kg/semana para los sólidos suspendidos totales. Esto demuestra que el proyecto es técnicamente viable y eficiente en la eliminación de contaminantes.

En resumen, el análisis del agua residual del hospital mostró una carga contaminante preocupante, lo que requiere la implementación de medidas de tratamiento y control adecuadas. El diseño de la planta de tratamiento del Hospital General Ambato demostró ser efectivo en la eliminación de contaminantes, lo que garantiza la calidad del agua y protege el medio ambiente. Sin embargo, se requerirá una inversión significativa para llevar a cabo este proyecto.

Referencias

- Alfárez Rivas, A. R. L. (2019, 21 junio). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado*.
<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>
- Avalos, M. L. A., Mayorga, D. F. B., & Veloz, M. J. G. (2021). Diseño y cotización de una planta de tratamiento de aguas residuales para parroquias rurales del Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo-Ecuador. *Conciencia digital*, 4(2), 198-214. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1659>
- Da Nóbrega, P. V., & Fumi Chim, A. F. C. (2021). Decision-making based on citizens' standpoint: An importance-performance analysis of smart city indicators. *International Journal of Management and Decision Making*, 20(2), 144. <https://doi.org/10.1504/ijmdm.2021.114458>
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales*.
<https://doi.org/10.22490/ecapma.2771>
- García Calvo, E. (2019). *Bacterias resistentes a antibióticos en estaciones depuradoras de agua residual* [T[esis de master]. Universidad de Alcalá.
- González-Hernández, Y., Peñate, I. Q., Schetrite, S., Jáuregui-Haza, U., & Albasi, C. (2020). UTILIZACIÓN DE UN BIORREACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE UN HOSPITAL ONCOLÓGICO. *Revista internacional de contaminación ambiental*. <https://doi.org/10.20937/rica.53855>
- Herrera Diaz, H. D. M. (2022). *Tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de micro-nanoburbujas: revisión sistemática* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Majumder, A., Gupta, A. K., Ghosal, P., & Varma, M. N. (2021). A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of environmental chemical engineering*, 9(2), 104812. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104812>

- Moreno Angosto, M. A. J. (2021). *Estudio de la problemática de los contaminantes emergentes en depuradoras de aguas residuales: tecnologías de tratamiento* [Tesis de máster]. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Mundial, B. (2019, 22 agosto). El deterioro de la calidad del agua reduce en un tercio el crecimiento económico en algunos países, según el Banco Mundial. *World Bank*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries>
- OMS. (2022). *Cambio climático y salud*. OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. Recuperado 6 de mayo de 2023, de <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>
- Rojas-Morales, J. L., Gutiérrez-González, E. C., & De Jesús Colina-Andrade, G. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.005>
- Tech, G. W. (2019). Tratamiento de aguas residuales hospitalarias mediante electrocoagulación. *Genesis Water Technologies*. <https://es.genesiswatertech.com/blog-post/hospital-wastewater-treatment-through-electrocoagulation/>