

Maestría en Hidrosanitaria

Evaluación y Caracterización de curvas de caudal para sistemas de tratamiento de aguas residuales con humedales de flujo vertical (Sistema Francés) en la ciudad de Cuenca.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título:

Magíster en Hidrosanitaria

Autor:

Bryan Alexander García Loja.

Directora:

Ing. María Belén Arévalo Durazno.

Cuenca – Ecuador

2025

DEDICATORIA

A mi madre.

Y en memoria de mi perrito Toby, que aunque ya no estes conmigo físicamente, tu presencia estará siempre en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Azuay.

Un agradecimiento especial a mi tutora de tesis Ing. María Belén Arévalo, por su apoyo constante y orientación a lo largo de este proceso de titulación.

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras.....	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción.....	1
Estado del Arte.....	2
Objetivos.....	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Revisión Literaria.....	5
Aguas Residuales	5
Composición del agua residual	5
Tipo de tratamiento de aguas residuales	5
Tratamientos Convencionales.....	6
Tratamientos No Convencionales	6
Humedales Artificiales	7
Humedales artificiales de flujo vertical: Sistema francés.....	7
Alimentación del humedal del sistema francés	8
Medio Filtrante	9
Influencia de las condiciones operativas en los humedales del sistema francés.....	10
Depósito de materia orgánica y conductividad hidráulica.....	11

Criterios de evaluación en sistemas de Humedales.....	12
Curvas de caudal.....	12
Carga orgánica.....	12
Carga hidráulica.....	13
Carga hidráulica instantánea.....	13
Tiempo de retención hidráulica	13
Conductividad hidráulica	14
Aspectos de la carga hidráulica y tiempo de retención	14
Materiales y Métodos.....	15
Generalidades del área de estudio	15
Descripción de los humedales piloto	16
Descripción Operativa de los humedales piloto.....	17
Metodología y análisis de la toma de muestras en los humedales piloto	18
Procesamiento de datos.....	20
Resultados y Discusión	22
Evaluación de Hidrogramas del sistema de humedales	30
Relación entre el caudal de entrada y el volumen almacenado en el sistema.....	30
Comportamiento del Hidrograma.....	34
Influencia de la tasa de carga hidráulica instantánea.....	37
Conclusiones.....	39
Recomendaciones	40
Bibliografía.....	42
Anexos.....	48

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Cronograma de muestreo general</i>	19
Tabla 2. <i>Cronograma de muestreo de inicio de alimentación del sistema</i>	21
Tabla 3. <i>Estadística paramétrica de las muestras de análisis</i>	25
Tabla 4 . <i>Prueba de normalidad de los datos analizados</i>	27
Tabla 5 . <i>Correlación Paramétrica Rho de Spearman</i>	28
Tabla 6 <i>Interpretación del coeficiente de Spearman</i>	29

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Ubicación del área de estudio</i>	15
Figura 2 . <i>Medio Filtrante de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales</i>	16
Figura 3 . <i>Pulso aplicado al humedal piloto</i>	17
Figura 4. <i>Hidrograma del caudal de salida del primer pulso del ciclo de alimentación del humedal</i>	22
Figura 5. <i>Datos del primer pulso del ciclo de alimentación</i>	24
Figura 6. <i>Relación de flujo y volumen de almacenamiento</i>	30
Figura 7. <i>Lotes (Pulsos) en diferentes días de un ciclo de alimentación</i>	35
Figura 8. <i>Hidrograma de caudal de salida y volumen acumulado en el sistema durante un ciclo de alimentación</i>	38

Evaluación y Caracterización de curvas de caudal para sistemas de tratamiento de aguas residuales con humedales de flujo vertical (Sistema Francés) en la ciudad de Cuenca.

Evaluation and Characterization of Flow Curves for Wastewater Treatment Systems with Vertical Flow Wetlands (French System) in the city of Cuenca.

García Loja, Bryan Alexander¹; Arévalo Durazno, María Belén²

Maestría en Hidrosanitaria – Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo C.P. 010204, Cuenca, Ecuador.

¹ bryangarcia@es.uazuay.edu.ec

² barevalo@uazuay.edu.ec

Resumen

El uso de humedales de flujo vertical del estilo francés como sistema de tratamiento no convencional se presenta como una opción sostenible y viable en países en vías de desarrollo para el tratamiento de aguas residuales. El presente estudio evaluó y caracterizó las curvas del hidrograma de salida del sistema, con el objetivo de comprender el comportamiento hidráulico, el cual, reflejó una retención de agua interna superior a la prevista en condiciones normales de funcionamiento. Factores como la acumulación de sólidos, la posible colmatación del lecho filtrante y la obstrucción parcial del sistema de drenaje, contribuyeron a la disminución de la eficiencia hidráulica del sistema, de igual manera, se consideró la medición del caudal mediante el método volumétrico, el cual presentó ciertos márgenes de error debido a las limitaciones que conlleva. Como resultado, se destacó la importancia de ajustar ciertos aspectos operativos para mejorar el funcionamiento del sistema, como ajustes en los tiempos de alimentación, mantenimiento periódico del lecho filtrante y la implementación de tecnologías más precisas para la medición del caudal.

Palabras Clave: Humedales, tratamiento de aguas residuales, comportamiento hidráulico hidrograma, colmatación del lecho filtrante, eficiencia hidráulica.

Abstract

The use of French-style vertical flow wetlands as an unconventional treatment system is presented as a sustainable and viable option in developing countries for wastewater treatment. This study evaluated and characterized the outflow hydrograph curves of the system, with the objective of understanding the hydraulic behavior, which reflected an internal water retention higher than expected under normal operating conditions. Factors such as solid accumulation, potential clogging of the filter bed, and partial obstruction of the drainage system contributed to the reduction of the system's hydraulic efficiency. Similarly, the flow measurement was considered using the volumetric method, which showed certain margins of error due to the inherent limitations. As a result, the importance of adjusting certain operational aspects to improve system performance was highlighted, including adjustments in feeding times, periodic maintenance of the filter bed, and the implementation of more precise flow measurement technologies.

Keywords: Wetlands, wastewater treatment, hydraulic behavior, hydrogram, clogging of the filtering bed, hydraulic efficiency.