



Análisis de la emisión de gases nitrogenados y carbonados de efecto invernadero en humedales artificiales del sistema francés: caso Cuenca, Ecuador

Trabajo de titulación

Maestría en Hidrosanitaria

Directora:

Ing. María Belén Arévalo Durazno, PhD

Autora:

Ing. María Paula Pérez Carrasco

Dedicatoria

A mi esposo Pachi, por ser el abasto en mi carrera.

A mi colega Pepeu en el cielo, que me enseñó a amar el agua.

A mi abuelo Edgardo, que desde lejos me enseñó a amar la tierra.

A mi abuela Clara, que me enseñó resiliencia.

A mi abuela Bertha, que me enseñó fortaleza.

A mi padre Pablo, que me enseñó la perseverancia.

A mi madre María Elena, que me enseñó a soñar.

A mi hermana Virginia, por ser mi ejemplo a seguir.

A mi hermano, porque Viena espera por nosotros.

A mi sobrino Eduardo, por mostrarme lo valiosa que es la vida.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto VLIR Ecuador Biodiversity Network. Este proyecto fue financiado por el Vlaamse Interuniversitaire Raad-Universitaire Ontwikkelingssamenwerking (VLIR-UOS), que apoya las colaboraciones entre universidades y centros universitarios de Flandes y el Sur. Agradecemos a los revisores sus relevantes y constructivas observaciones. Agradecemos a Javier Genovez, Doménica Ochoa, Paz Largo, Paulina Pulla sus contribuciones durante la campaña de muestreo. Agradecemos a ETAPA por permitirnos utilizar sus instalaciones. Las campañas de muestreo se llevaron a cabo en el marco del proyecto ERASMUS+ “Gestión del Agua y Cambio Climático en el Enfoque de los Másteres Internacionales (WATERMAS)”, financiado por la Agencia Ejecutiva en el Ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA) de la Unión Europea. El apoyo de la Comisión Europea a la producción de esta publicación no implica la aprobación de su contenido, que refleja únicamente la opinión de los autores, y la Comisión no se responsabiliza del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella. Long Ho es investigador postdoctoral del FWO (número de proyecto 1253921N).

Resumen

Los humedales artificiales de flujo vertical tipo francés son una solución basada en la naturaleza que representa una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales, aunque estos, debido al flujo constante de materia orgánica y de nutrientes, pueden generar cantidades considerables de gases de efecto invernadero (GEI), como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), cuya contribución al cambio climático en contextos locales es poco conocida. En Cuenca, Ecuador, se operan humedales artificiales piloto tipo francés en Ucubamba, pero no existen estudios exhaustivos sobre sus emisiones. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo evaluar y caracterizar dichas emisiones, correlacionándolas con condiciones operacionales y meteorológicas, para proponer estrategias de mitigación. El estudio se basa en un enfoque no experimental descriptivo y correlacional, por medio de un análisis de datos preexistentes mediante estadística descriptiva. Los resultados indicaron que las mayores tasas de emisión se presentan durante la fase de alimentación, con flujos promedios de CO_2 y CH_4 significativamente más altos en el humedal parcialmente saturado, en comparación con el humedal no saturado. En cuanto al ciclo del nitrógeno, las condiciones de saturación parcial favorecieron procesos de desnitrificación incompleta, generando emisiones promedio de N_2O de $45 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, valor que supera ampliamente los rangos reportados en literatura internacional para sistemas similares. En la variación espacial, se identificaron zonas críticas de emisión en las zonas cercanas a la entrada del afluente. Al ser comparados con otros sistemas, los humedales artificiales presentaron niveles de gases carbonados notablemente inferiores a las lagunas de estabilización, y a otras tecnologías de tratamiento, consolidándose como una opción más limpia. Por lo tanto, se recomienda que la optimización de los ciclos de alimentación y descanso, y el control riguroso del nivel de saturación del lecho se incluyan como medidas de mitigación importantes para reducir la huella climática de los humedales artificiales de tipo francés.

Palabras clave: *Humedales artificiales de flujo vertical, Sistema francés, Gases de efecto invernadero, Dióxido de carbono, Metano, Óxido nitroso, Tratamiento de aguas residuales*

Abstract

French vertical flow constructed wetlands are a nature-based solution that represents a sustainable alternative for wastewater treatment. However, due to the continuous inflow of organic matter and nutrients, these systems can generate considerable amounts of greenhouse gases (GHG), such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O), whose contribution to climate change under local conditions remains poorly understood. In Cuenca, pilot-scale French constructed wetlands operate at Ucubamba; nevertheless, comprehensive studies on the emissions are still lacking. Therefore, this research aimed to evaluate and characterize these emissions, correlating them with operational and meteorological conditions in order to propose mitigation strategies. The study was based on a descriptive and correlational non-experimental approach through the analysis of pre-existing data using descriptive statistics. Results indicated that the highest emission rates occurred during the feeding phase, with average CO₂ and CH₄ fluxes significantly higher in the partially saturated wetland compared to the non-saturated wetland. Regarding the nitrogen cycle, partially saturated conditions promoted incomplete denitrification processes, generating average N₂O emissions of 45 mg m⁻² d⁻¹, a value considerable higher than the ranges reported in international literature for similar systems. Spatial variability analysis identified critical emission zones near the influent inlet. When compared with other treatment systems, constructed wetlands showed significantly lower carbonaceous gas emissions than stabilization ponds, and other treatment technologies, consolidating their position as a cleaner treatment alternative. Therefore, optimization of feeding and resting cycles, together with strict control of bed saturation levels, is recommended as an important mitigation strategy to reduce the climate footprint of French vertical flow constructed wetlands.

Keywords: vertical flow constructed wetlands, French system, Greenhouse gases, Carbon dioxide, Methane, Nitrous oxide, Wastewater treatment.