



Universidad de Concepción

Dirección de Postgrado

Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile

Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales mención Sistemas Acuáticos Continentales

**ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO Y PATRONES ASOCIATIVOS DE SISTEMAS
DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES Y NATURALES DE AGUAS SERVIDAS
PARA LA ELIMINACION DE MATERIA ORGANICA Y NUTRIENTES**

ISMAEL LEONARDO VERA PUERTO

CONCEPCION – CHILE

2012

Profesor Guía: **Dra. Gladys Vidal Sáez**
Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile,
Universidad de Concepción, Chile

RESUMEN

El desarrollo de actividades humanas ha generado una fuerte presión sobre los sistemas acuáticos continentales por demanda de agua, y, disposición de aguas servidas. Las aguas servidas se originan por la mezcla de los residuos líquidos, producidos por las diferentes actividades humanas de un asentamiento, los que son recolectados y transportados por un sistema de alcantarillado. Presentan características de tipo físico, como sólidos (Sólidos Suspendidos Totales (SST): 120 a 450 mg/L), químicos, de tipo orgánico (Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅): 100 a 800 mg/L; Demanda Química de Oxígeno (DQO): 200 a 1600 mg/L) e inorgánico (Nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺): 12 a 70 mg/L, Fosfato (P-PO₄⁻³): 3 a 30 mg/L), y microbiológicos (Coliformes Fecales (CF): 1x10³ a 3,5 x 10⁸ NMP/100 ml). En este sentido, la descarga de aguas servidas sin tratamiento presenta efectos en el funcionamiento de los sistemas acuáticos continentales, causando oscilaciones de oxígeno disuelto, eutrofización, toxicidad y enfermedades en los seres humanos.

Para mitigar el efecto ambiental por descarga de aguas servidas en sistemas acuáticos continentales, el tratamiento se constituye de tres partes: recolección, tratamiento y restitución. Esta tesis se focalizó en la evaluación de sistemas de tratamiento de tipo convencional y natural. Para esto, se ha definido una clasificación a los asentamientos humanos: a) urbanos, poseen más de 2000 habitantes, y presentan actualmente sistemas de tratamiento convencionales, y, b) rurales, poseen menos de 2000 habitantes.

Por tanto, el objetivo de esta tesis fue evaluar el funcionamiento y la relación entre sistemas de tratamiento convencionales y naturales, para la eliminación de materia orgánica y nutrientes, a través de patrones asociativos, empleando herramientas estadísticas, conceptuales y operacionales.

Los sistemas convencionales aplicados en asentamientos urbanos (ver Capítulo III), se clasificaron en 4 tecnologías basadas en procesos aeróbicos de tratamiento, lodos activos, convencional y aireación extendida, reactores de flujo discontinuo, y, lagunas facultativas aireadas mecánicamente. Estos sistemas han sido operados por un promedio de 6 años. La eficiencia de eliminación para todas las tecnologías evaluadas, respecto a los parámetros DBO₅, DQO y SST fue superior al 80%, mientras que, la eliminación de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) y

P fue inferior al 80%, y 50%, respectivamente. Estos valores fueron respuesta al manejo de los parámetros de control, los que presentaron un mínimo de 50% de datos en los rangos óptimos de operación. Además en su funcionamiento, las 4 tecnologías presentaron índices medios de producción de lodo entre 0,3 y 8,14 kg/(Hab-año), y, un consumo medio de energía eléctrica entre 18,88 y 31,74 kWh/(Hab-año).

Por otro lado, los resultados de la evaluación de desempeño y funcionamiento de sistemas naturales o no convencionales, se realizó con tecnología de humedales construidos de flujo Horizontal Subsuperficial (HSS). Los resultados fueron presentados en 4 capítulos de esta tesis, divididos por la escala de aplicación: a) Capítulo IV, HSS escala real en clima mediterráneo, b) Capítulo V, HSS escala piloto, instalado en la Región del Biobío, y, c) Capítulo VI y VII, HSS escala laboratorio, instalado en invernadero.

La evaluación de HSS escala real, presenta los resultados de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), que incluyen HSS como tratamiento secundario en la línea de tratamiento. Se evaluaron datos de 11 PTAS con una operación promedio de 8 años. Los resultados mostraron que los efluentes tratados presentaron para la DBO_5 concentraciones medias inferiores a 25 mg/L en 9 de las 11 PTAS, con eficiencias de eliminación entre un 78 y 96%. Por otra parte, la concentración de SST presentó valores inferiores a 35 mg/L, en 8 de las 11 PTAS, con eficiencias de eliminación entre un 65 y 88%. Para los nutrientes, N y P, las eliminaciones estuvieron en el rango de 48 a 66%, y, de 39 a 58%, respectivamente. Por otra parte, se estudió la influencia dada por unidades de pulimento posteriores a los HSS. Se determinó que no hay una mejora significativa ($\alpha > 0,05$) por parte de las unidades de pulimento, basadas solo en sistemas lagunares para DBO_5 , SST, N y P. Sin embargo, se obtuvo una mejora significativa ($\alpha < 0,05$) de las unidades de pulimento basadas en sistemas lagunares con HSS posteriores, para las concentraciones efluentes de DBO_5 , N y P, pero sin contribución significativa ($\alpha < 0,05$) en el manejo de SST.

La escala piloto, contempló el estudio de cuatro unidades de HSS implementadas en la Región del Biobío (Chile), bajo condiciones climáticas mediterráneas australes. Los resultados resumen los primeros 193 días de operación, correspondientes a la etapa de puesta en marcha. De las cuatro unidades de HSS, dos unidades fueron plantadas con *Phragmites australis* y las otras dos,

con *Schoenoplectus californicus*. Las eficiencias de eliminación fueron similares en todas las unidades, presentando eliminaciones de DBO₅ bajo 60%, y de N y P, bajo 35%. Además, respecto de las plantas, se estableció que la especie *Phragmites australis* mostró una mejor adaptación temprana que la especie *Schoenoplectus californicus*.

Para proyectar el trabajo a escala piloto, se estudió en HSS a escala laboratorio, la mejora en la eliminación de P (ver Capítulo VI) y N (ver Capítulo VII), mediante la aplicación de estrategias de aireación, junto a un cambio de medio de grava por zeolita. Estos sistemas fueron operados durante 500 días. El seguimiento realizado al P-PO₄³⁻, indicó que el cambio de medio de soporte a zeolita en un HSS, mejora significativamente ($\alpha < 0.05$) la eliminación, llegando a valores de 70%. Además, se estableció que la aireación tuvo un efecto significativo ($\alpha < 0.05$) únicamente en el medio de soporte de grava, incrementando hasta 30% la eliminación de P-PO₄³⁻, y llegando a valores del 50%. Por otro lado, la mejora en la eliminación de N, se discutió haciendo seguimiento al N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻. Los resultados obtenidos para el medio de grava, mostraron que la estrategia de aireación incrementó entre 20 y 40% la eliminación de N-NH₄⁺, con transformación a N-NO₃⁻. Además, la eliminación de N-NH₄⁺ en el medio de zeolita se incrementó hasta 60% por la capacidad de adsorción del medio, llegando a eficiencias de eliminación de hasta 90%. También, se estableció que la especie de planta usada, *Schoenoplectus californicus*, aporta entre 10 y 20% a la eliminación tanto de P como de N.

Finalmente en el Capítulo VIII, se presentan de forma asociativa los resultados de influentes, efluentes, y funcionamiento de los sistemas de tratamientos convencionales y naturales. En influentes y efluentes se estableció que asociativamente son similares entre sistemas convencionales y naturales. Para el funcionamiento, se determinó como patrón asociativo la Eliminación Unitaria Diaria (ELUD). Los valores de ELUD fueron entre 2 y 20 veces superiores en los sistemas convencionales, siendo más intensivas, y teniendo por tanto, índices de operación superiores, para la energía eléctrica y la producción de biosólidos. En el caso de la energía eléctrica el uso en sistemas convencionales y naturales es diferente, estando directamente relacionado con el tratamiento en las tecnologías de sistemas convencionales (por aireación). La producción de biosólidos de los sistemas naturales fue un 50% menor. Así, su producción fue por biomasa de la zona foliar de las plantas, y no por lodo derivado del tratamiento.