



DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N y P IMPLEMENTADOS EN INDUSTRIAS DE URUGUAY

María José del Campo

Ministerio de Ambiente (MA), Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA). Es jefe del Departamento de Control Ambiental de Actividades desde el 2016 a la fecha. Es ingeniera química y tiene una maestría en ingeniería ambiental.



TEMA: relevamiento de las distintas configuraciones de sistemas de remoción de nutrientes implementados en industrias de Uruguay

Dir.: Regidores 1321, Montevideo–Uruguay - Cel 096724 367, e-mail: maria.delcampo@ambiente.gub.uy

RESUMEN

Se realizó un relevamiento de los sistemas de remoción de nutrientes que están implementados en Uruguay (incluyendo los sistemas en obras), en cuanto a la tecnología y configuración que utilizan. Hay 34 industrias que tienen sistema específico de remoción de fósforo, 7 de éstas cuentan con remoción biológica, y las 34 tienen remoción fisicoquímica. El 68% de las industrias utilizan sulfato de aluminio para la precipitación, le sigue en uso el cloruro férrico por un 20% de las industrias. El punto de dosificación de la sal se reparte de la siguiente manera: un 26% realizan pre-precipitación, un 65% co-precipitación y un 9% post-precipitación. Se observa que para la pre-precipitación se utilizan unidades DAF y la post-precipitación se realiza sobre filtros Lamella principalmente.

Un total de 33 industrias tienen sistema específico para remoción de especies de nitrógeno: sistemas únicamente de nitrificación (6 industrias), de nitrificación/desnitrificación (N/D) (25 industrias) y 2 industrias que tienen humedales. La tecnología utilizada para el proceso únicamente de nitrificación corresponde a Sistemas de Lodos Activados (SLA) con etapa aireada. Para la N/D se tiene SLA con secuencia de etapas anóxica y aireada; también se utilizan Reactores Batch Secuenciales (SBR) –con alternancia de fases que permitan las condiciones análogas a los SLA anóxica/aireada y sedimentación. En la remoción de nitrógeno la configuración más utilizada en Uruguay es la desnitrificación de cabeza, sin embargo, hay instaladas en el país una variedad de configuraciones: en cascada, intermitente, simultánea, UCT, A2/O y SBR. Siendo el sedimentador una unidad fundamental en los SLA, se observa que la mayoría de las industrias cuenta con unidades construidas con las características adecuadas.

Palabras Clave: efluentes industriales, tratamiento de efluentes, remoción de N y P

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, Uruguay ha avanzado sustancialmente en la implementación de sistemas de remoción de nutrientes en los efluentes industriales: mientras que en el año 2013 había únicamente 4 industrias con sistemas específicos funcionando, al año 2022 hay construidas y ya operando sistemas específicos para la remoción de nitrógeno unas 25, y de fósforo unas 29 industrias. Por tal motivo, resulta interesante contar con un relevamiento sobre las tecnologías que se utilizan en Uruguay, tanto en el diseño conceptual de tratamiento (el proceso biológico o fisicoquímico que se utiliza), como en las distintas configuraciones y variedades operando.

Es importante destacar que, las tecnologías utilizadas internacionalmente se basan en:

- Remoción biológica de N, mediante el camino metabólico de nitrificación autótrofa seguida por la desnitrificación heterótrofa (N/D).
- Remoción biológica de P, mediante la incorporación aumentada por microorganismos específicos
- Remoción fisicoquímica de P, por precipitación con sales multivalentes

Estos procesos se integran en tecnologías de Sistemas de Lodos Activados (SLA) y Reactores Batch Secuenciales (SBR), siendo al presente las tecnologías más ampliamente desarrolladas y exitosamente utilizadas (Metcalf and Eddy, 2003) (ATV-A 131, 2001) (Lackner; Gilbert et al., 2014).

A continuación, se mencionan las configuraciones encontradas en Uruguay junto con la secuencia de etapas. En la Figura 1 se puede observar un esquema. Para profundizar en las características, ventajas y desventajas de cada configuración se puede referir a del Campo, (2018):

- 1) Desnitrificación de cabeza (también denominada Modified Ludtzak-Ettinger): anóxica-aireada.
- 2) SLA simultánea: las etapas anóxicas y aireadas se dan en el mismo reactor, en zonas distintas propiciadas por el flujo del líquido;
- 3) SLA intermitente: las etapas anóxicas y aireadas se dan en el mismo reactor, en momentos distintos en el tiempo;
- 4) SLA en cascada: dos sistemas anóxico-aireado (pasos), y una fracción del efluente bruto se deriva a cada paso;
- 5) A2/O (también denominada Phoredox en tres etapas): anaerobia, anóxica, aireada, la recirculación de lodos entra al anaerobio, la interna del aireado al anóxico);
- 6) UCT (University of Cape Town): anaerobia, anóxica, aireada, la recirculación de lodos entra al anóxico, hay dos recirculaciones internas, del aireado al anóxico y del anóxico al anaerobio);
- 7) SBR, en los que deben disponerse las etapas anóxica, anaerobia y aireada.

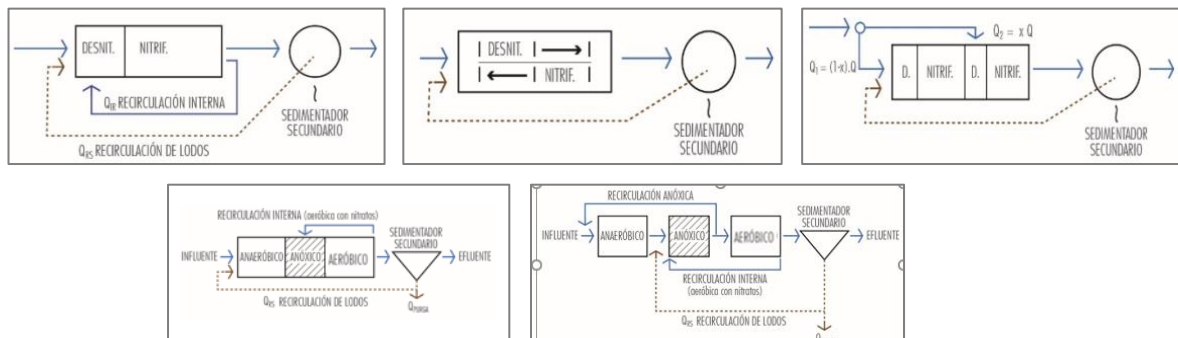


Figura 1: arriba-izquierda: desnitrificación de cabeza; arriba-centro: SLA intermitente; arriba-derecha: SLA en cascada; abajo-izquierda: A2/O; abajo-derecha: UCT

Sin perjuicio de lo anterior, debe mencionarse, que a nivel internacional se está propiciando el desarrollo de tecnologías alternativas. Algunas de estas también utilizan el proceso de N/D por ejemplo MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge), y otras tecnologías que utilizan otro camino metabólico: nitrificación parcial y oxidación anaerobia de amonio (Sharon +Anammox o DEMON). En lo que refiere al fósforo también se están estudiando alternativas de precipitación selectiva para su recuperación. Sin embargo, al presente estas son aplicadas en situaciones restringidas, en corrientes secundarias, y con inconvenientes técnicos que aún no se han solucionado y por el momento no son económicamente viables.

OBJETIVO

Realizar un relevamiento de los sistemas de remoción de nutrientes instalados en Uruguay, las tecnologías, las configuraciones de tratamiento y las cargas que se puede remover con el uso de estos sistemas.

ALCANCE Y CARACTERÍSTICAS DEL RELEVAMIENTO

Se analizaron todas las industrias que vierten a curso de agua con caudal de diseño de la planta de tratamiento mayor a 200 m³/d. Se tomó como grupo de estudio a aquellas que cuentan con un sistema específico para remoción de nutrientes construido y operando, y también se incluyó, a aquellas que están en obras del sistema de remoción de nutrientes. Si bien en este último caso estrictamente aún no está funcionando, se entendió que el sistema a instalar ya está definido y aprobado por la autoridad ambiental



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

(DINACEA) y con un plazo determinado; por lo tanto, es representativo de las tecnologías en uso en el Uruguay.

La información se tomó de los trámites de SADI de cada industria. Las cargas de NH_4 y P removidas se calcularon mediante las cargas de ingreso provistas en la SADI y asumiendo que el efluente vertido cumple los estándares de la normativa.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Sistemas de remoción de fósforo

Son 34 industrias las que cuentan con un sistema específico para remoción de este contaminante (29 industrias ya construido y operando, 5 industrias en obras). Siete de las 34 industrias, tienen sistema para remoción biológica de P con configuración A2/O o UCT. Sin embargo, estas también cuentan con agregado de sal, ya que la precipitación química tiene una respuesta más rápida ante variaciones del sistema. Por lo tanto, las 34 industrias tienen agregado de sal para remoción de P mediante precipitación.

En relación con el **punto de dosificación**, se observa que 22 industrias realizan co-precipitación, 9 pre-precipitación y solo 3 cuentan con post-precipitación, ver Tabla 1. Cabe indicar que en la post-precipitación el agregado de químicos se realiza al efluente clarificado que sale del sedimentador secundario, por lo que se requiere de una unidad de separación posterior, incrementando los costos de inversión y operación del sistema global. Dos de estas industrias cuentan con un sedimentador Lamella; en el caso de la tercera ya contaba con un tratamiento construido y la incorporación de otro sedimentador se encontró como la mejor solución.

Analizando el grupo de las 9 industrias que realizan pre-precipitación, se observa lo siguiente:

- Solo una, realiza precipitación química mediante el agregado de cal de una corriente con alto contenido de P. Cabe indicar que esta corriente, no tiene comparativamente, altas cargas de otros contaminantes.
- De las restantes 8 industrias que realizan pre-precipitación, es interesante el hecho que 6 realizan el agregado de sal en una unidad de Flotación por Aire Disuelto (DAF), es decir, en un sistema de separación que implica cierta tecnología.

Al evaluar si existe asociación entre el rubro y el tipo de dosificación, se observa que es indistinto, no encontrándose prevalencia entre la pre, co o post precipitación, en función del rubro, ver Tabla 1.

Al relevar el **tipo de sal** que se agrega, se observa que mayoritariamente es sulfato de aluminio (23 industrias), le sigue el cloruro férrico (7), luego el policloruro de aluminio (2) y el sulfato férrico (1) y cal (1). Es probable que la preferencia por el sulfato de aluminio en vez del cloruro férrico sea debido a que el pH óptimo de precipitación del primero se acerca más al pH neutro en el que debe operar el sistema biológico (6,5 y 5,3 respectivamente); además de no ser tan corrosivo como el cloruro férrico que ataca bombas, válvulas y equipos. Ambas serían las razones que prevalecen frente al menor costo y mejor eficiencia del cloruro férrico.

En la elección de la sal a agregar, -al igual que en el punto de dosificación- tampoco se observa relación directa entre el rubro y el tipo de sal, ver Tabla 1.

Análogamente, al evaluar si existe relación entre el tipo de dosificación o la sal, en función del caudal de diseño o de las cargas de fósforo removidas, tampoco se observa una prevalencia, ver Tabla 1.

Tabla 1: Relevamiento de los puntos de dosificación en función de cantidad de industrias; sal agregada, rubros, rango de caudales de diseño del sistema de remoción de fósforo y rango de cargas de fósforo, de ingreso a la planta de tratamiento de efluentes

Punto de dosificación	Cantidad industrias	Sal agregada	Rubro	Rango de caudal de diseño, del sistema	Rango de cargas de
-----------------------	---------------------	--------------	-------	--	--------------------



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

				de remoción de P (m ³ /d)	P removida (kg P/d)
Co-precip	22	Al ₂ (SO ₄) ₃ FeCl ₃	frigoríficos, subproductos cárnicos, malterías, lácteas, curtiembre y celulosa	200 - 6000	2 - 140
Pre-precip	9	Al ₂ (SO ₄) ₃ FeCl ₃ PAC cal	frigorífico, supproductos cárnicos, láctea, alimentos, celulosa	220 - 1600	2 - 60
Post-precip	3	Al ₂ (SO ₄) ₃ FeCl ₃ Fe ₂ (SO ₄) ₃	frigorífico, láctea, cervecería	200 - 2500	2 - 80

Remoción de nitrógeno

En el país hay 33 industrias, (25 ya tienen el sistema específico operando, 8 están en construcción). Se puede observar que la configuración más utilizada para N/D es la desnitrificación de cabeza (12 industrias); por otra parte, hay gran variedad de configuraciones implementadas: A2/O (3), UCT (3), intermitente (3), simultáneo (1), en cascada (1), SBR (2), SLA únicamente para nitrificación (6) y humedales (2 industrias), ver Tabla 2. Como particularidad cabe resaltar que solo dos de las 33 industrias realizan agregado de materia orgánica en la etapa anóxica (metanol y glicerina).

En cuanto al tipo de sedimentador surge lo siguiente: 2 industrias cuentan con MBR- Membrane Biofilm Reactor, (una láctea y una de alimentos); 2 tienen DAF (un frigorífico y una de subproductos cárnicos), 2 industrias tienen una laguna como unidad de sedimentación (estas realizan únicamente nitrificación), y las restantes tienen sedimentadores convencionales, repartándose en proporciones similares entre los sedimentadores de hormigón y los excavados en tierra (de cualquier manera los sedimentadores excavados cuentan con características constructivas adecuadas). En resumen, se observa que las industrias que cuentan con SLA han implementado tecnología en el sedimentador, aspecto imprescindible para lograr un adecuado espesamiento del lodo y poder recircularlo al sistema.

Es un aspecto relevante la gran cantidad de lodos que producen estos sistemas y por ende resulta interesante conocer la gestión que se realiza de los mismos. Para la deshidratación se utilizan centrifugas decanter, filtro de bandas, filtro prensa y también se derivan a geotubos directamente (al menos 10 industrias). Los lodos deshidratados son en la mayoría aerobios, es decir se derivan a la deshidratación directamente desde la purga del sedimentador; por otra parte, hay 4 industrias que tienen digestión de lodos. El destino final de los lodos biológicos deshidratados es compostaje, uso como mejorador de suelo o disposición en vertedero.

En la Tabla 2, se presentan los rangos de caudales de diseño y de cargas de N de remoción de la planta de tratamiento de efluentes. Cabe destacar que las cargas removidas de N corresponden al total de la planta de tratamiento de efluentes, y no únicamente al sistema de remoción de N, que sería lo más adecuado, pero no se tiene dicha información.

Tabla 2: Relevamiento de los sistemas de remoción de N en función de la cantidad de industrias; rango de caudales de diseño del sistema de remoción de nitrógeno y rango de cargas de amonio removidas (kg N/d).



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

Sistema de remoción de N	Cantidad de industrias	Rubro	Rango del caudal de diseño, del sistema de remoción de N (m ³ /d)	Rango de cargas de amonio removida (kg N/d) (*)
N/D con desnitrificación de cabeza	12	Alimentos, bebidas, frigoríficos, subproductos cárnicos, maltería, curtiembre, láctea y química	200 - 3000	35 - 1060
N/D A2O	3	Maltería, láctea	1025 - 6000	65 - 360
N/D UCT	3	Frigorífico, matadero aves, láctea, cervecería	960 - 2140	135 - 365
N/D intermitente	3	Curtiembre, láctea, subproductos cárnicos	210 - 2500	50 - 430
N/D simultáneo	1	Frigorífico	1250	125
N/D en cascada	1	Frigorífico	2300	590
SBR	2	Frigorífico, matadero aves	225 - 2500	125 - 790
SLA con nitrificación	6	Frigorífico, maltería	210 - 2800	20 - 175

(*) se evalúa la carga de remoción de amonio (nitrificación)

CONCLUSIONES

Se observa que tanto las tecnologías de remoción de nutrientes como las configuraciones implementadas en Uruguay, son acordes a las utilizadas internacionalmente.

De las 34 industrias que tienen implementado sistema específico de remoción de fósforo, 7 de estas realizan remoción biológica y las 34 remoción fisicoquímica. El punto de dosificación mayoritario es la co-precipitación (22 de las 34 industrias) y la sal que se utiliza preferencialmente es el sulfato de aluminio (23 de 34).

En relación con la remoción de amonio y de nitrato, de las 33 industrias con sistema específico de remoción, se observa que la configuración que más se utiliza es la desnitrificación de cabeza (12 industrias); adicionalmente hay una gran variedad de configuraciones implementadas en Uruguay.

Se entiende que con el presente trabajo se tiene una primera aproximación descriptiva de los sistemas de remoción de nutrientes que se encuentran implementados en el Uruguay, a los efectos de contar con un relevamiento cualitativo de la situación actual del país. Como próximos pasos, sería interesante relevar: los aspectos constructivos de cada sistema (dimensiones de unidades, materiales de construcción y características constructivas); equipamiento de aireación, de bombeo; los parámetros de diseño característicos de cada sistema, las cargas de N y P que ingresan específicamente a los sistemas de remoción de N y P y las eficiencias específicas.



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



BIBLIOGRAFÍA

- ATV-A 131. (2001). *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen (Diseño de Plantas de Lodos Activados de una sola etapa)*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser.
- del Campo, M. (2018). *Sistemas de tratamiento de remoción de nitrógeno y fósforo, de efluentes de industrias de la cuenca del Río Santa Lucía*. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/29392>.
- Lackner, S.; Gilbert, E.; Vlaemick, S.; Joss, A.; Horn, H.; Van Loodsdrecht, M.C.M. (2014). Full-scale partial nitrification/anammox experiences- An application survey. *Water Research*, 292-303.
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Fourth Edition ed.). New York City: Mc Graw Hill.