



Estudio del proceso de desnitrificación de aguas residuales: Un caso en la industria alimentaria

Study of wastewater denitrification process: A case in the food industry

Estudo do processo de desnitrificação de águas residuais: Um caso na indústria alimentar

José Gerardo León Chimbolema ^I
gerardo.leon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Sofía Carolina Godoy Ponce ^{II}
sofia.godoy@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Hernán Patricio Tixi Toapanta ^{III}
htixi@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9462-7052>

Correspondencia: gerardo.leon@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de diciembre de 2022 * **Aceptado:** 12 de enero de 2023 * **Publicado:** 08 de febrero de 2023

- I. Doctor en Química, Master en protección Ambiental, Docente investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (ESPOCH), Riobamba, Ecuador
- II. Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Docente investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (ESPOCH), Riobamba, Ecuador
- III. Doctor en Química, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

Se llevó a un estudio técnico para evaluar el proceso de desnitrificación y de nitrificación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales perteneciente a una empresa de la industria alimentaria ubicada en la ciudad de Ambato, para conocer su eficiencia en la remoción de compuestos nitrogenados. Se determinaron parámetros físico-químicos y operativos para comprender su desarrollo, obteniendo como resultado un aumento del 3.4% en el caudal que limitaba el tiempo de detención hidráulico, así como una mejora en la eficiencia del reactor del 17.9% al 31.4% cuando se modificó el oxígeno disuelto que se encontraba por debajo de la referencia. La evaluación microbiana se lo realizó cualitativamente, siendo el incremento de OD ligero en la concentración de organismos filamentosos, con densidad y presencia en el flóculo; mientras que los ciliados se mantuvieron en una cantidad mínima.

Palabras Clave: desnitrificación; aguas residuales; evaluación microbiana; industria; alimentos.

Abstract

A technical study was carried out to evaluate the denitrification and nitrification process of a Wastewater Treatment Plant belonging to a food industry company located in the city of Ambato, to know its efficiency in the removal of nitrogenous compounds. Physicochemical and operational parameters were determined to understand its development, obtaining as a result an increase of 3.4% in the flow that limited the hydraulic detention time, as well as an improvement in the efficiency of the reactor from 17.9% to 31.4% when it was modified. dissolved oxygen that was below the reference. The microbial evaluation was carried out qualitatively, with the slight increase in OD in the concentration of filamentous organisms, with density and presence in the floc; while the ciliates were kept in a minimal quantity.

Keywords: denitrification; sewage water; microbial evaluation; industry; food.

Resumo

Foi realizado um estudo técnico para avaliar o processo de desnitrificação e nitrificação de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais pertencente a uma empresa da indústria alimentar localizada na cidade de Ambato, para conhecer a sua eficiência na remoção de compostos azotados. Parâmetros físicos e operacionais foram determinados para entender seu desenvolvimento, obtendo como resultado um aumento de 3,4% na vazão que limitou o tempo de detenção hidráulica, bem

como una mejora en la eficiencia del reactor de 17,9% para 31,4% cuando fue modificado. oxígeno disuelto que estaba por debajo de la referencia. La evaluación microbiana fue realizada cualitativamente, con un leve aumento de DO en la concentración de organismos filamentosos, con densidad y presencia en el floculo; mientras que los ciliados fueron mantenidos en una cantidad mínima.

Palabras-clave: desnitrificación; aguas residuales; evaluación microbiana; industria; comida.

Introducción

La desnitrificación es un proceso en el que se reduce la cantidad de nitrógeno contenido en las aguas residuales. El nitrógeno es un elemento esencial para la vida, pero cuando hay demasiado en el agua, puede afectar a los organismos acuáticos, la calidad del agua y la salud humana. La desnitrificación es una etapa clave en el tratamiento de aguas residuales y es una parte importante de la descontaminación de los ecosistemas acuáticos. Durante el proceso de desnitrificación, los compuestos nitrogenados se reducen a sus formas menos tóxicas, como el nitrato y el nitrito. Se usan microorganismos para llevar a cabo el proceso, ya que son capaces de descomponer los compuestos nitrogenados y convertirlos en nitrógeno gaseoso o nitrato. Esto se conoce como desnitrificación biológica. Estos microorganismos consumen oxígeno del agua mientras realizan el proceso, por lo que es necesario asegurarse de que hay suficiente oxígeno disponible para que sea eficiente (Sánchez-Balseca et al., 2019). Existen varios métodos de desnitrificación, que incluyen desnitrificación aeróbica, anaeróbica, biofílmica y biológica. La desnitrificación aeróbica se lleva a cabo en un biopelícula, donde se oxida el nitrógeno con el oxígeno disuelto en el agua. La desnitrificación anaeróbica se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y se usa una solución de nitrato para reducir el nitrógeno. La desnitrificación biofílmica se lleva a cabo en una superficie sólida, como una placa de metal, y usa microorganismos para reducir el nitrógeno. La desnitrificación biológica se lleva a cabo en un medio líquido y usa bacterias para reducir el nitrógeno. Los procesos de desnitrificación son sustanciales para la descontaminación de los ecosistemas acuáticos y ayudan a reducir el nitrógeno en el agua a un nivel seguro para los organismos acuáticos. También ayudan a mejorar la calidad del agua y a prevenir la eutrofización, que es el exceso de nitrógeno en el agua que puede provocar la muerte de los organismos acuáticos. Igualmente previene la contaminación de los cuerpos de agua por nitratos, ya que la reducción del nitrógeno en el agua reduce el riesgo de contaminación por nitratos (Carvajal Aldás, 2019).

En este mismo sentido, los nitratos (NO_3) se reducen a nitritos (NO_2) como parte del ciclo del nitrógeno.

El proceso se lleva a cabo por microorganismos anaerobios, como bacterias desnitrificantes, en un ambiente carente de oxígeno. Estos organismos utilizan el nitrato como fuente de energía, oxidando los nitratos para liberar energía y liberar nitritos como producto final. Esta reacción es reversible, lo que significa que los nitritos también pueden ser oxidados a nitratos, permitiendo que el ciclo del nitrógeno se mantenga. Cuando la desnitrificación se realiza vía nitritos, el proceso comienza con la oxidación de nitritos a nitratos. Esto es llevado a cabo por una variedad de bacterias anaerobias, como las *Pseudomonas* spp., que utilizan nitrito como sustrato y nitrato como producto final. Una vez que se produce la oxidación, los nitratos se reducen a nitritos con la ayuda de la enzima nitrito reductasa. Esta enzima es producida por bacterias anaerobias como *Thiobacillus* spp., que utilizan el nitrito como sustrato y producen nitrato como producto final. Una vez que el nitrito ha sido reducido a nitrato, los nitratos pueden ser utilizados por las plantas como una fuente de nitrógeno para su desarrollo. Esto permite que el nitrógeno se cierre en el ciclo del nitrógeno y evita que los nitratos se vuelvan a liberar al medio ambiente. La desnitrificación vía nitrito es un proceso para la reducción de la contaminación por nitratos en los ecosistemas acuáticos. Esto se debe a que los nitratos pueden contribuir a la eutrofización, lo que reduce la biodiversidad y la calidad del agua. Por lo tanto, la desnitrificación vía nitrito es una herramienta importante para el control de la contaminación por nitratos. Además, la desnitrificación vía nitrito también es un proceso para el tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que los nitratos pueden ser tóxicos para los humanos y la desnitrificación permite reducir los niveles de nitrato a un nivel seguro (Chhetri et al., 2022; Márquez Fontalvo, 2021; Zhang et al., 2019) Se lleva a cabo por bacterias anaerobias, como *Pseudomonas* spp. y *Thiobacillus* spp., que utilizan nitrito como sustrato y nitrato como producto final. Esto permite que el nitrógeno se cierre en el ciclo del nitrógeno y se evite la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Además, la desnitrificación vía nitrito también permite reducir los niveles de nitratos a un nivel seguro para la salud humana (Song et al., 2021; Xi et al., 2022).

Aguas residuales

Por su parte, las aguas residuales son aquellas que se generan como resultado de la actividad humana, como el agua de lavado, el agua de cocina, el agua de lluvia o el agua de lluvia. Estas aguas contienen desechos que pueden ser peligrosos para el medio ambiente y la salud humana si no se tratan correctamente. Estas aguas contienen una gran cantidad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, que pueden causar daños a la flora y fauna acuáticas, contaminar el agua potable y afectar la salud humana. Estas sustancias pueden incluir nitratos, sulfatos, fósforo, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas, fertilizantes, plaguicidas y otros compuestos tóxicos. Pueden ser tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas plantas usan diversas técnicas para tratarlas y eliminar los contaminantes. Estas técnicas incluyen la filtración, el tratamiento biológico, el tratamiento químico, el tratamiento físico y la desinfección. Es significativo destacar que el tratamiento de aguas residuales no siempre es suficiente para eliminar todos los contaminantes (Norton & Ouyang, 2019; Thakur et al., 2023; Wu et al., 2020) Por lo tanto, se debe controlar el flujo de las aguas residuales para evitar la contaminación de los cuerpos de agua. Esto se puede lograr mediante la construcción de sistemas de alcantarillado adecuados y la conexión de los edificios a la red de alcantarillado. Es importante que todos los países tomen medidas para reducir la cantidad de aguas residuales generadas. Esto se puede lograr mediante el uso de tecnologías de bajo impacto, la reducción de la producción de desechos, el reciclaje y el uso de tratamientos adecuados. También, que se establezcan leyes y normas para controlar la calidad de las aguas residuales. Esto ayuda a garantizar que los cuerpos de agua se mantengan saludables y seguros para la vida acuática y la salud humana (Pimiento & Cárdenas, 2021).

Las aguas residuales de las industrias alimentarias son uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrentan hoy en día. Estas aguas, que se generan durante el procesamiento de alimentos, contienen una gran cantidad de sustancias químicas, bacterias, nutrientes y otros productos químicos. Estas aguas son una fuente sustancial de contaminación de los suelos y aguas superficiales. En las industrias alimentarias contienen una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles, como grasas, aceites, detergentes, colorantes y pesticidas. Estos compuestos se acumulan en los cuerpos de agua y pueden afectar la calidad del agua. Además, los nutrientes contenidos en las aguas residuales pueden aumentar la eutrofización de los cuerpos de agua, lo que afecta la calidad de vida de los organismos acuáticos, contienen microorganismos, como bacterias y virus. Estos microorganismos pueden ser muy tóxicos y pueden afectar a los seres humanos, así como a

los animales y al medio ambiente. Las bacterias, en particular, pueden multiplicarse y contaminar los alimentos, lo que puede ser potencialmente peligroso para la salud humana (Cruz Méndez, 2021).

Por lo tanto, las industrias alimentarias deben ser responsables y controlar la calidad de sus aguas residuales para evitar la contaminación de los suelos y aguas superficiales. Las industrias alimentarias deben tener en cuenta la legislación aplicable y tomar las medidas necesarias para asegurar que sus aguas residuales se traten adecuadamente antes de que sean descargadas a los cuerpos de agua. Esto incluye el uso de equipos y procesos de tratamiento adecuados para reducir la cantidad de sustancias tóxicas presentes en las aguas residuales. Las industrias alimentarias también deben establecer procedimientos para evitar la contaminación de las aguas residuales. Esto incluye el control de la entrada de materias primas, el aseguramiento de un procesamiento seguro y eficiente de los alimentos, el uso de equipos y procesos de limpieza apropiados y el uso de sistemas de almacenamiento seguros para prevenir la contaminación de los alimentos. Las aguas residuales de las industrias alimentarias son un problema ambiental que debe ser abordado adecuadamente para asegurar la salud y el bienestar de los seres humanos y el medio ambiente. Es crucial que las industrias alimentarias tomen medidas para asegurar que sus aguas residuales se traten adecuadamente antes de que sean descargadas a los cuerpos de agua. Además, que estas industrias deben establecer procedimientos para minimizar la contaminación de las aguas residuales (Carvajal Aldás, 2019; Neogi et al., 2021).

En este mismo sentido, Xi et al. (2022), determinaron que, los procesos de nitrificación y desnitrificación secuenciales, tradicionalmente utilizados para la eliminación biológica de nitrógeno, han sido recientemente complementado por otras técnicas novedosas. Estas incluyen la oxidación anaeróbica del amoníaco (anammox), la oxidación completa del amoníaco a nitrato en un organismo (comammox), la nitrificación heterotrófica y la desnitrificación aeróbica (HN-AD), y la reducción disimilatoria del nitrato a amonio (DNRA). Entre estas últimas, se destaca la HN-AD, que presenta numerosas ventajas, permitiendo la eliminación de nitrógeno en un solo paso, bajo condiciones aeróbicas en presencia de carbono orgánico.

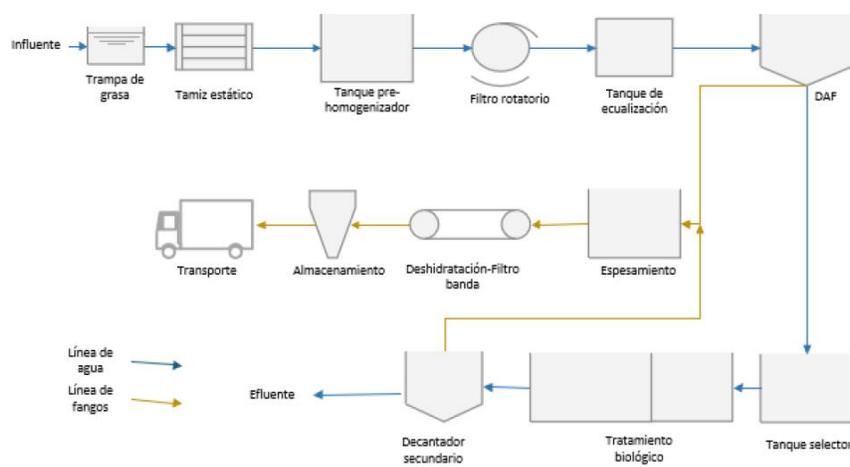
Bajo esta perspectiva, se presenta este estudio centrado en el proceso de desnitrificación en la planta de tratamiento aguas residuales de una industria alimentaria ubicada en el Cantón Ambato.

Materiales y métodos

Para este estudio se examinó el sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa alimenticia. Dicho sistema es electrónicamente sistematizado; constituido de tratamientos físicos, químicos y biológicos, incluyendo el manejo de lodos hasta su disposición final. La figura 1 muestra el esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

Etapa de tratamiento preliminar

Figura 1: Esquema simple de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Carvajal Aldás (2019)

Conociendo el esquema de la planta de tratamiento se determinó los procesos que se cumplen en cada fase, en el tratamiento preliminar las partículas más grandes son capturadas y eliminadas con objeto de entrar en una rutina de recuperación de residuos, que luego se dirige a un tanque pre-homogeneizador donde se combinan todos los desechos de los procesos de fabricación. En el tratamiento físico- químico el efluente tamizado se bombea hacia un filtro rotatorio con una malla de 0.1 mm, y luego se envía a un tanque estabilizador de pH. La Unidad de Flotación por Aire Disuelto (DAF) produce micro burbujas de 20-40 μm para aumentar la fuerza de ascenso de los polímeros de tamaño similar o mayor. Estas micro burbujas se pegan a los flóculos, haciendo que las más ligeras se levanten rápidamente desde la superficie de la DAF. Los sólidos pesados no se ven afectados por estas burbujas, y se acumulan en el fondo, de donde se eliminan con un tornillo de descarga automático. En el tratamiento biológico el agua residual pasa a un tanque conocido

como "contacto" o "selector", que impide el desarrollo de bacterias filamentosas y estimula el crecimiento de bacterias floculadas. Luego, el efluente se bombea hacia la etapa de desnitrificación anóxica del reactor biológico de flujo continuo, en donde se mezcla el agua con el llamado "licor de mezcla". Finalmente, este líquido es impulsado hacia la fase aeróbica.

Posteriormente, en el sedimentor secundario la unidad DAF "Bioflot" recibe el agua del sistema biológico para separar la biomasa del efluente. Una parte de los lodos extraídos se recircula al sistema biológico para mantener la cantidad adecuada de biomasa, mientras que la otra fracción se envía al tanque de lodos. Después de separar la biomasa del agua, esta última se dirige a un tanque de nivel; parte de esta se recircula al proceso de producción y la otra se descarga al río.

Con respecto al manejo de lodos químicos y biológicos son capturados en una unidad de espesamiento antes de ser deshidratados utilizando un filtro de banda. Los lodos resultantes se almacenan en un depósito y luego se envían al GIDSA y a un proveedor de lodos que se transforman en compost, ya que son considerados no peligrosos.

Puntos de muestreo

Se consideraron 4 puntos de muestreo (P1, P2, P3 Y P4), se recolectaron muestras del P1 cada hora durante 24 horas para crear una muestra compuesta. Las muestras del P2, P3 y P4 fueron tomadas de forma individual y única. Los recolectores trabajaron durante un mes y medio, depositando las muestras en recipientes de plástico identificados con una capacidad de 1 litro.

Se recurrió al uso del Colorímetro HACH, junto con otros dispositivos en el laboratorio de Gestión Ambiental y Control de Calidad de la Empresa, para llevar a cabo las técnicas analíticas necesarias para caracterizar físico-químicamente el efluente.

- Definición de los parámetros operacionales
- Se determinaron los siguientes parámetros:
- Determinación del caudal (m³/d)
- Determinación del pH
- Determinación del Oxígeno Disuelto – OD (mg/L)
- Determinación de MLSSV (Sólidos Suspendedos Volátiles en el Licor Mezcla)
- Determinación del Tiempo de detención hidráulico (TDH)
- Determinación del Tiempo de Retención Celular (TRC o θ_c)
- Determinación de la Carga Másica (Relación F/M)

- Determinación del V30 (Sólidos Suspendidos mediante prueba volumétrica) (ml/L)
- Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

Determinación de la eficiencia del proceso de nitrificación y desnitrificación

Se consideraron las variantes de los compuestos nitrogenados como NO_2^- , NO_3^- y N-NH_3 según los sitios de muestreo identificados. La eficacia se evaluó con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\% \text{NO}_2^- = \frac{(\text{NO}_2^-_e - \text{NO}_2^-_s)}{\text{NO}_2^-_e} * 100$$

Donde:

$\% \text{NO}_2^-$ = Eficiencia de remoción de los NO_2^- (%)

$\text{NO}_2^-_e$ = Nitritos en la entrada al reactor (mg/L)

$\text{NO}_2^-_s$ = Nitritos a la salida del reactor (mg/L). Se realizó el mismo procedimiento para cada uno de los compuestos establecidos.

Evaluación de la población microbiana

Mediante la técnica de microscopía de campo claro se observaron flóculos y microorganismos presentes en la muestra y se clasificó en dos criterios: regular y irregular. Además, se identificó la estructura del flóculo en tres categorías (compacta, media y abierta). Para la identificación de organismos depuradores se empleó la Guía metodológica para la elaboración de análisis microbiológicos de fangos activos de E.D.A.R.s propuesta por Grupo de Bioindicación de Sevilla (2009).

Resultados

En la Tabla 1 se presentan las variaciones entre los parámetros de diseño y los resultados físico-químicos e hidráulicos del efluente que se está tratando actualmente. El diagnóstico inicial de la PTAR realizó una comparación entre ellos.

Tabla 1: Parámetros de diseño y actuales de la PTAR

Parámetros Físicos

Parámetros	Diseño	Actuales
Caudal Diario, M3/D	2417	2499
Caudal Horario	100	104
Promedio, M3/H		
Caudal Horario Máx. (Máx. 2h Continuo), M3/H	125	125
TDH, D	2.5	1.75

Parámetros Químicos

Parámetros	Diseño	Actuales
DQO (mg/L)	2726	2335
NTK (mg/L)	132	369
N-NH₃ (mg/L)	<50	88
Fósforo total (mg/L)	<3	21
Temperatura	19-25	18,74
pH	2,5-8,0	5,07

Fuente: Carvajal Aldás (2019)

El aumento en el caudal del efluente, así como los cambios en la variabilidad físico-química, están relacionados en gran medida con la mezcla de materia prima, que consiste en carnaza seca y carnaza fresca. Esto ha provocado un aumento del caudal del efluente que llega a la PTAR del 82 m³/d, lo que representa un incremento del 3.4% con respecto al caudal de diseño. Además, esto ha causado una disminución en el tiempo de retención en el reactor de 0.75 d. En cuanto a la caracterización físico-química, se ha observado un aumento en la concentración de NTK y N-NH₃, lo que representa una disminución en la eficiencia de remoción de estos componentes.

Igualmente, se llevó a cabo un análisis de los datos operacionales de la PTAR para identificar las variables que afectan directamente el proceso de nitrificación/desnitrificación. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica para establecer los parámetros de operación óptimos y contrastarlos con los valores actuales, como consta en la tabla 2.

Tabla 2: Diagnóstico operacional de la PTAR

Parámetro	Bibliografía		Operación	
	Nitrificación	Desnitrificación	Nitrificación	Desnitrificación
OD (mg/L)	>2	<1	1,7	0,3
Temperatura (°C)	28-32	25-35	19,45	19,06
pH	6,8-8,0	7,0-8,0	7,58	7,44
Relación C:N	---	2,86	0,68	4,51
Edad del fango (d)	>5		6.45	
MLSSV (mg/L)	3500		4400	
F/M (kgDQO/kgSSVLM.día)	0,05-1,5		0,23	
IVL (ml/g)	<100		54,60	

Fuente: Carvajal Aldás (2019)

Se observaron diferencias entre los parámetros obtenidos en los resultados y los valores referenciales. Por lo tanto, se examinó si estas variaciones eran viables en relación al desempeño real de la PTAR, objeto de estudio. Los parámetros que difieren se listan y desarrollan a continuación.

OD (Oxígeno Disuelto): Se puede concluir que es necesario aumentar la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) para evaluar su efecto en la disminución de N-NH₃ durante la nitrificación, así como tener en cuenta el costo económico que implica el aumento de la aireación en el reactor biológico y el impacto de la concentración de OD en la etapa de desnitrificación.

La relación C:N: La relación C:N del agua que ingresa al tanque anóxico es de 4.51, superior al valor de 2.86 para la desnitrificación, sin embargo, la DQO del efluente de descarga es aceptable,

lo que indica que el carbono residual del proceso de desnitrificación es consumido por las bacterias autótrofas encargadas de la nitrificación. Esta variable no se puede modificar ya que proviene del efluente tratado.

Edad del fango: Con respecto a la edad del fango es superior a la referencia establecida. Aunque sea posible modificar esta variable, se debe mantener el criterio de operación sin añadir la eliminación de lodos para conservar la consistencia con la bibliografía.

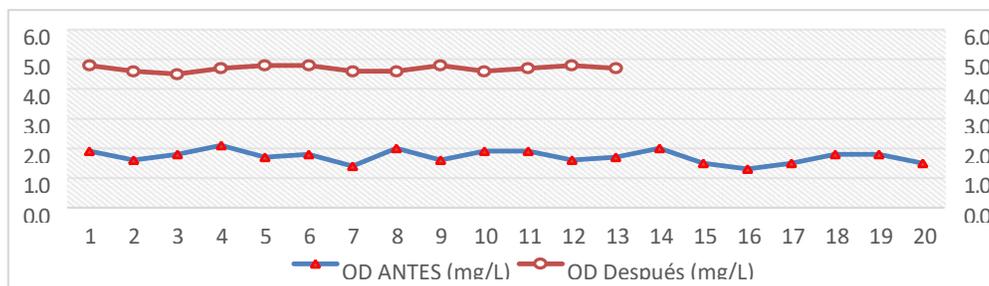
MLSSV y IVL: El nivel de MLSSV se mantiene constante durante todo el proceso del reactor, con una cantidad de 4400 mg/L. Esto difiere del valor estipulado por la bibliografía ya que, cuando se opera con una MLSSV de 3500 mg/L, se genera una mayor concentración de DQO en la descarga. El IVL promedio de $54.6 < 100$, indica una buena sedimentabilidad de los lodos.

Modificación de parámetros operacionales

Con el fin de mejorar la remoción del N-NH₃ se realizó una modificación en la concentración de OD considerado como factor limitante en la balsa de aireación. Manteniendo el aireador 1 y 2 encendidos, y el aireador 3 prendiendo 15 minutos en intervalos de 120 min durante un periodo de 15 días. Para mantener uniformes las demás variables operacionales se ajustaron de acuerdo al caudal tratado diario. El resultado de esta modificación se evidenció en el Gráfico 2 por la evolución de la concentración de OD con un promedio de 4.7 mg/L OD en el reactor aerobio. Se recopilaron datos sobre los compuestos nitrogenados NO₂⁻, NO₃⁻ y N-NH₃ en los diversos lugares establecidos para examinar cómo se desarrollaban.

Se observó que al aumentar la aireación en el reactor con una concentración de OD de 1.7 mg/L para N-NH₃, la eficiencia promedio de remoción aumentó de 17.9% a 31.4%, un aumento de 13.5%, obteniendo una concentración de descarga de 160 mg/L de N-NH₃.

Figura 2: Variación de la concentración de OD en el reactor aerobio



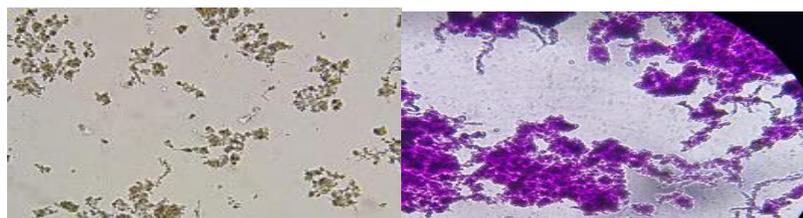
Fuente: Carvajal Aldás (2019)

Igualmente, con la modificación en la aireación se observó un aumento en las concentraciones de NO_2^- y NO_3^- en el reactor, que constituye un incremento de 2.85 mg/L de NO_3^- y de 2.55 mg/L de NO_2^- .

Por su parte, la modificación de la aireación se tradujo en un aumento en las concentraciones de NO_2^- y NO_3^- en el reactor, con un incremento de 2.85 mg/L de NO_3^- y 2.55 mg/L de NO_2^- . La zona de desnitrificación se mantuvo en condiciones anóxicas, con una eficiencia de remoción de 85% en NO_3^- y 75% de NO_2^- .

Con respecto a la evaluación microbiana reveló un flóculo de forma irregular abierta. La dispersión normal indica que el lodo se encuentra en buenas condiciones. Los filamentos pequeños presentes sugieren la presencia de *Nocardia* sp., lo que indica que el lodo puede ser viejo (aproximadamente 10 días).

Figura 3: Flóculo abierto irregular y dispersión normal.



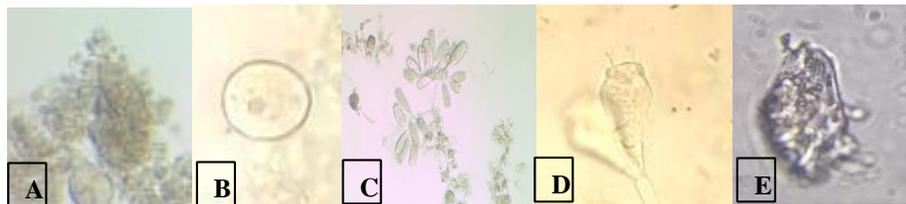
Fuente: Carvajal Aldás (2019)

Asimismo, se detectaron algunas especies específicas que indican la eliminación de sustancias orgánicas en relación a la gran variedad de microorganismos, como se muestra en la figura 4.

Se halló la presencia de *Arcella* hemisférica (A), una ameba que prospera en ambientes con nitrificación. Alrededor del flóculo, se notaron ciliados libres y móviles (B), indicando una calidad

aceptable del lodo y el efluente. Asimismo, adheridos al flóculo había ciliados pedunculados como *Vorticella* sp. y *Opercularia* sp. (C-D). Estas especies son normales cuando el tratamiento se realiza correctamente, dado que su agarre les da una ventaja adaptativa. Al mismo tiempo, desempeñan un importante papel equilibrador al ser depredadores de ciliados libres y bacterias no floculadas, además de nutrirse de materia orgánica, como *Naegleria aqualitis* (E). Los cilios vacíos de *Vorticella* sp. aparecen en ambientes de baja concentración de oxígeno o con presencia de sustancias tóxicas, mientras que un elevado número de *Opercularia* sp. puede generar una saturación de materia orgánica, lo que impide la sedimentabilidad del flóculo.

Figura 4: Microorganismos observados en el reactor biológico A) *Arcella hemisphaérica* D) Ciliado móvil C)-D) Ciliados fijos E) *Naegleria aqualitis*



Fuente: Carvajal Aldás (2019)

Conclusiones

Al comparar los parámetros físico-químicos e hidráulicos actuales de la PTAR con los parámetros de diseño originales, se detectó un aumento en el caudal y en los niveles de carga orgánica y nitrogenada, lo que explica en gran medida la reducida eficacia de remoción de compuestos nitrogenados.

Los parámetros físico-químicos que participan en el proceso de desnitrificación de aguas residuales, los resultados mostraron que los parámetros de OD, temperatura y MLSSV no estaban dentro del límite establecido como referencia. La concentración de OD se identificó como el factor que limitaba el desarrollo de nitrificación y desnitrificación, por lo que se incrementó desde 1.7 mg/L hasta 4.7 mg/L, lo que se tradujo en una mejora de la remoción de N-NH₃ en la balsa de aireación y en el efluente de descarga. No obstante, este aumento no tuvo ningún impacto en el reactor anóxico, ya que las concentraciones de OD se mantuvieron entre 0.2-0.3 mg/L, que son consideradas adecuadas para la desnitrificación.

Finalmente se concluye, que mediante la observación microscópica cualitativa de la población microbiana en el efluente se lograron diferenciar organismos responsables de la eliminación de materia orgánica, lo cual es indicador de un fango estable. Se encontró una presencia mínima de un protozooario, el cual indica si el proceso de nitrificación/desnitrificación está ocurriendo en el reactor. Al aumentar las concentraciones de OD se pudo notar un mayor número de filamentos y densidad en el flóculo formado, lo que según bibliografía se considera como un aumento en el rendimiento del proceso de depuración.

Referencias

1. Carvajal Aldás, L. H. (2019). Evaluación del proceso de desnitrificación en la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria alimentaria ubicada en el cantón Ambato. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/13272>
2. Chhetri, R. K., Karvelas, S., Sanchez, D. F., Droumpali, A., Kokkoli, A., & Andersen, H. R. (2022). A modified nitrification inhibition test for high-salinity wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 429, 132460. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2021.132460>
3. Cruz Méndez, A. (2021). Producción de biohidrógeno a partir de una codigestión anaerobia utilizando agua residual de la industria alimenticia en un reactor continuo empleando consorcios microbianos mixtos. Universidad Autónoma de Nuevo León.
4. Márquez Fontalvo, N. P. (2021). Biological Nitrogen Removal from Domestic Wastewater [Universidad de la Costa]. In *Comprehensive Biotechnology, Second Edition (Vol. 6)*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00533-X>
5. Neogi, S., Sarkar, P., Chaterjee, P. K., Dutta, S., & Dey, A. (2021). Anammox technology for the food industry nitrogenous wastewater treatment. *The Future of Effluent Treatment Plants: Biological Treatment Systems*, 431–450. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822956-9.00023-4>
6. Norton, J., & Ouyang, Y. (2019). Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 10(AUG), 1931. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.01931/BIBTEX>

7. Pimiento, K., & Cárdenas, M. J. (2021). Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela). *INGE CUC*, 17(1), 1–14. <https://doi.org/10.17981/INGECUC.17.1.2021.01>
8. Sánchez-Balseca, J. J., Muñoz-Rodríguez, I. M., & Aldás-Sandoval, M. B. (2019). Tratamiento biológico de desnitrificación de aguas residuales usando un reactor de biopelícula con cáscara de arroz como fuente de energía. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(2), 78–97. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2019-02-03>
9. Song, T., Zhang, X., Li, J., Wu, X., Feng, H., & Dong, W. (2021). A review of research progress of heterotrophic nitrification and aerobic denitrification microorganisms (HNADMs). *Science of The Total Environment*, 801, 149319. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149319>
10. Thakur, K., Kuthiala, T., Singh, G., Arya, S. K., Iwai, C. B., Ravindran, B., Khoo, K. S., Chang, S. W., & Awasthi, M. K. (2023). An alternative approach towards nitrification and bioremediation of wastewater from aquaponics using biofilm-based bioreactors: A review. *Chemosphere*, 316, 137849. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.137849>
11. Wu, G., Li, Z., Huang, Y., Zan, F., Dai, J., Yao, J., Yang, B., Chen, G., & Lei, L. (2020). Electrochemically assisted sulfate reduction autotrophic denitrification nitrification integrated (e-SANI®) process for high-strength ammonium industrial wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 381, 122707. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2019.122707>
12. Xi, H., Zhou, X., Arslan, M., Luo, Z., Wei, J., Wu, Z., & Gamal El-Din, M. (2022). Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification process: Promising but a long way to go in the wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 805, 150212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150212>
13. Zhang, M., Wang, S., Ji, B., & Liu, Y. (2019). Towards mainstream deammonification of municipal wastewater: Partial nitrification-anammox versus partial denitrification-anammox. *Science of The Total Environment*, 692, 393–401. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.293>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).