

Artículo Científico / Scientific Article

## Estudio exploratorio de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal en drenaje urbano de Guatemala

*Exploratory study of nitrites, nitrates and ammoniacal nitrogen in the urban drainage of Guatemala*

Engel Alexander Cáceres<sup>1</sup> Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos Sobalvarro<sup>1</sup> , Catalina Paque López<sup>1</sup> 

, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: [caceres.sobalvarro@gmail.com](mailto:caceres.sobalvarro@gmail.com); [catepaque@gmail.com](mailto:catepaque@gmail.com)

Recibido: 31/05/2024

Revisión: 12/10/2024

Aceptado: 29/10/2024

### Resumen

El estudio exploratorio sobre nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal en el drenaje urbano de Ciudad de Guatemala examina la presencia de estos compuestos en los desagües urbanos. Se analiza de forma exploratoria la presencia de estos elementos en las conexiones domiciliarias de entes generadores de agua residual de tipo hospitalario y de oficinas, así como en la descarga del drenaje en el cuerpo receptor. El objetivo principal del estudio es determinar qué compuesto tiene mayor presencia en las aguas residuales urbanas. Se caracterizaron 13 puntos de monitoreo, incluyendo cinco conexiones domiciliarias, cinco pozos de visita y tres colectores de descargas directas. Los resultados muestran que los nitratos, con un valor medio de 42.714 mg/L, son los más abundantes. Le sigue el nitrógeno amoniacal con un valor medio de 25.856 mg/L, equivalente a 34.82 mg/L de amonio. Las concentraciones medias del nitrato (42.714 mg/L) es un 65.2% mayor que la concentración media de nitrógeno amoniacal (25.856 mg/L). Las conclusiones indican que los sistemas de drenaje favorecen la nitrificación, transformando el nitrógeno amoniacal en nitratos. Este estudio destaca la importancia de comprender la dinámica de estos compuestos en los drenajes. Entender dicha dinámica permitirá abordar mejor los impactos en el medio ambiente, la salud pública y el tratamiento de aguas residuales.

**Palabras claves:** Descargas, agua residual, nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, drenaje urbano.

### Abstract

The exploratory study on nitrites, nitrates and ammoniacal nitrogen in urban drainage in Guatemala City examines the presence of these compounds in urban drains. The presence of these elements is analyzed in an exploratory manner in the residential connections of entities that generate wastewater for hospitals and offices, as well as in the discharge of the drainage into the receiving body. The main objective of the study is to determine which compound has the greatest presence in urban wastewater. 13 monitoring points were characterized, including five household connections, five manholes and three direct discharge collectors. The results show that nitrates, with an average value of 42,714 mg/L, are the most abundant. It is followed by ammoniacal nitrogen with an average value of 25.856 mg/L, equivalent to 34.82 mg/L of ammonium. The average concentrations of nitrates (42,714 mg/L) are 65.2% higher than the average concentration of ammoniacal nitrogen (25,856 mg/L). The conclusions indicate that drainage systems favor nitrification, transforming ammoniacal nitrogen into nitrates. This study highlights the importance of understanding the dynamics of these compounds in drains. Understanding these dynamics will allow us to better address the impacts on the environment, public health and wastewater treatment.

**Key words:** Discharges, wastewater, nitrite, nitrate, ammonia nitrogen, urban drainage.



## Introducción

El Nitrógeno es un elemento diatómico que se encuentra de manera natural en estado gaseoso a temperatura y presión ordinaria, comprende el 78% de la atmósfera terrestre y en su forma elemental es relativamente inerte (Ávila et al., 2002)

El nitrógeno está presente en los seres vivos. En el cuerpo humano forma parte de la composición elemental hasta en un 3%. (Cruz Cruz et al., 2019).

Sin embargo, el exceso de especies reactivas de nitrógeno en el ambiente (nitrógeno reactivo) puede ser fuente de contaminación a causa de diversas prácticas como: el uso de fertilizantes sintéticos, la descarga de aguas residuales y la combustión de combustibles fósiles. Asimismo, el nitrógeno reactivo aporta las consecuencias del cambio climático y agota la capa de ozono. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2023).

En el hombre, la metahemoglobinemia es el principal efecto tóxico de la ingestión de compuestos nitrogenados. La metahemoglobinemia es causada por nitritos, que son los productos de reducción de los nitratos. Esta reducción se realiza mediante acción microbiana en el medio ambiente o en el organismo (Ávila et al., 2002).

Al hablar del nitrógeno en el ambiente, es muy común hablar de nitrógeno total. Este se compone de diferentes formas de nitrógeno que incluyen: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ).

Para entender de mejor manera el proceso de composición del nitrógeno total, se debe considerar los procesos de desnitrificación y nitrificación en el ciclo del nitrógeno.

La nitrificación es la conversión aeróbica del nitrógeno amoniacal a nitrato mediante bacterias quimioautótrofas. Este proceso ocurre principalmente por la acción de nitrosomonas y nitrobacter, que transforman el amonio en nitrito y luego el nitrito en nitrato. Por otro lado, la desnitrificación es un proceso microbiano en el que el nitrato se reduce en condiciones anóxicas para producir nitrógeno molecular, a través de

bacterias heterotróficas desnitrificantes (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortíz, 2013).

El presente artículo se aborda un análisis de la presencia de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal en descargas de origen hospitalario y en descarga de drenaje urbano.

El nitrógeno amoniacal, es producto de la degradación del nitrógeno orgánico y, este a su vez, por acción bacteriana, se oxida en nitritos y posteriormente a nitratos (González, 2013).

El nitrato y el nitrito son dos compuestos de nitrógeno que las plantas y los animales necesitan para vivir y crecer. Se presentan de manera natural en la tierra, el agua y el aire. El nitrato y el nitrito también se producen en el cuerpo (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2017).

El nitrato y el nitrito son solubles en el agua y, por lo tanto, pasan rápidamente a través de la tierra hacia el agua subterránea. Por lo general, estas sustancias químicas permanecen en la tierra y el agua hasta que las plantas las absorben por las raíces o microorganismos las degradan en otra sustancia química. El nitrato y el nitrito no se evaporan al aire (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2017).

En la mayoría de los casos la presencia de los compuestos nitrogenados en cuerpos de agua se debe a la disposición de aguas residuales sin tratamiento en estos.

Los compuestos nitrogenados pueden alcanzar en cuerpos de agua niveles tóxicos que alteren la capacidad de los animales para sobrevivir, crecer y reproducirse (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortíz, 2013).

El nitrógeno es un nutriente vital para las plantas, quienes lo utilizan en la síntesis de proteínas para su crecimiento. Los fertilizantes nitrogenados aportan el nitrógeno necesario y a su vez, algunos de ellos son fuentes importantes de nitratos, dando lugar a través de su uso a un incremento de la presencia y concentración de éste en el medio (Pacheco Ávila y Cabrera Sansores, 2003).

Los parámetros de aguas residuales que se monitorean en la presente investigación no se encuentran regulados por normas ambientales en Guatemala. La legislación guatemalteca desde su enfoque de descargas a través del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006) solo considera el nitrógeno total.

Los procesos de nitrificación - desnitrificación del agua residual pueden generar inconvenientes en los cuerpos de agua. Ejemplo de ello tenemos el aumento de la acidez, el desarrollo de eutrofización y el aumento de las concentraciones hasta niveles tóxicos tanto en aguas superficiales como subterráneas (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortíz, 2013).

Guatemala enfrenta esta problemática, por lo que el estudio se centró en identificar la presencia de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal en las aguas residuales urbanas de Ciudad de Guatemala, además, se busca determinar las posibles variaciones de estos compuestos en el drenaje urbano antes de ser vertidos en los cuerpos receptores.

Para determinar las concentraciones de estos compuestos nitrogenados en aguas residuales urbanas, se monitorearon 13 puntos distribuidos en la ciudad. Estos incluyeron conexiones domiciliarias, pozos de visita de generadores de aguas residuales hospitalarias y domésticas, y descargas de los drenajes municipales de ciudad de Guatemala.

### Antecedentes

A nivel regional, se han realizado estudios que hacen referencia a las concentraciones de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal en aguas residuales urbanas. Por ejemplo, Espino (2003) evaluó el afluente de un sistema de tratamiento, presentando valores promedio en la entrada a la planta de N-NO<sub>3</sub> de 7 mg/L y de 0.6 mg/L de N-NO<sub>2</sub>, para el nitrógeno amoniacal el valor promedio fue de 33 mg/L. Los valores presentados en esa investigación equivalen a 30.8 mg/L de NO<sub>3</sub> y 1.98 mg/L de NO<sub>2</sub>.

A nivel de Guatemala, Argueta Gálvez y Aguilar Carrera (2017) publicaron valores máximos y mínimos de nitratos y nitritos en la planta de tratamiento agua residual de la Universidad de San Carlos Guatemala.

Los valores reportados son 116 y 76 mg/L para nitratos, y 1.55 y 0.22 mg/L para nitritos.

Por otra parte, Samayoa y Dubois (2018) efectuaron una caracterización en dos periodos distintos en una PTAR de carácter hospitalario. El estudio reportó valores de nitratos de 968 mg/L en el primer muestreo y 660 mg/L en el último muestreo realizado en la entrada de la planta.

En las aguas residuales, los compuestos nitrogenados inorgánicos más comunes son el amonio, el nitrito y el nitrato. El amonio es el principal y se genera por la descomposición de materiales proteicos. No obstante, cuando la contaminación proviene de fertilizantes inorgánicos o procesos industriales, es posible encontrar cantidades significativas de nitritos y nitratos (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortíz, 2013).

Otro aspecto interesante de estos compuestos es la afectación de manera química al concreto. Según Posada Bustamante (1994), las aguas que contienen ácidos libres, sulfatos, sales de magnesio o amoniaco en cantidades apreciables pueden ser agresivas hacia el concreto.

### Materiales y método

La investigación se desarrolló bajo un enfoque de tipo cuantitativo y un alcance exploratorio.

#### Materiales

Se realizó un muestreo a conveniencia, identificando las ubicaciones por medio de herramienta de Sistema de Información Geográfica SIG. Se seleccionaron descargas de tipo hospitalaria y domésticas cercanas entre sí.

También se indagó el recorrido del drenaje municipal para monitorear el punto de descargas de ambos entes generadores seleccionados, hacia los cuerpos de agua.

En la tabla 1, de resultados se presenta también una columna indicando la descripción general del tipo de obra donde fueron monitoreados los 13 puntos seleccionados, abarcando conexiones domiciliarias, pozos de visita y descargas.

Se tomaron como referencia 3 descargas a cuerpos receptores (DD), 6 descargas de tipo doméstica (DNH), y 4 descargas de tipo hospitalaria (DH).

Los puntos de monitoreo se ubicaron en la ciudad de Guatemala. Según datos de la plataforma urbana y de ciudades de la CEPAL el municipio cuenta con una población de 2.645,002 personas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2023).

La época lluviosa en la ciudad de Guatemala por lo general da inicio en el mes de mayo, en el mes de junio suelen presentarse días nublados y lluviosos. En julio y parte de agosto se produce un período seco denominado canícula, esto debido a la inversión de los alisios, y al fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México, posteriormente al debilitarse y desaparecer vuelven nuevamente las precipitaciones intensas que completan la temporada lluviosa en los meses de septiembre y octubre (Fundación para la conservación del agua de la región metropolitana de Guatemala [FUNCAGUA], 2024).

La época seca da inicio con el incremento de la presión atmosférica y la migración de masas de aire frío proveniente de la zona polar (frentes fríos), causando un descenso de la temperatura e incrementando la velocidad del viento, por lo general se tiene predominancia de viento norte, esta época fría se marca de noviembre a febrero, y posteriormente, se incrementa la temperatura presentándose olas de calor en los meses de marzo y abril. Durante esta época se pueden presentar algunas lluvias locales de tipo convectivo, o prefrontales por la influencia de frentes fríos. (FUNCAGUA, 2024).

El periodo de monitoreo de esta investigación se realizó en época seca en los meses de febrero y abril del año 2024, en 13 puntos que abarcan sectores de drenajes sanitarios de la cuenca norte de la ciudad de Guatemala.

Como limitante del estudio no se realizaron réplicas del muestreo ni se monitoreo la época lluviosa. Otra limitante es que se centralizo en los compuestos de estudio y no abarco comparación ni se monitorearon otros parámetros como carga orgánica y caudal.

Las muestras se tomaron en frascos de un litro de capacidad, estos frascos fueron nuevos adquiridos específicamente para la investigación. Las muestras se preservaron con hielo y se trasladaban en vehículo desde el punto de muestreo hacia el laboratorio.

En el proceso de recolección de muestras se utilizaron herramientas para acceder de manera eficaz y segura a las descargas en los pozos y conexiones domiciliarias como se muestra en la figura 1. Se realizó la medición en sitio el potencial de hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto.

**Figura 1. Proceso de toma de muestras en pozos de visita.**



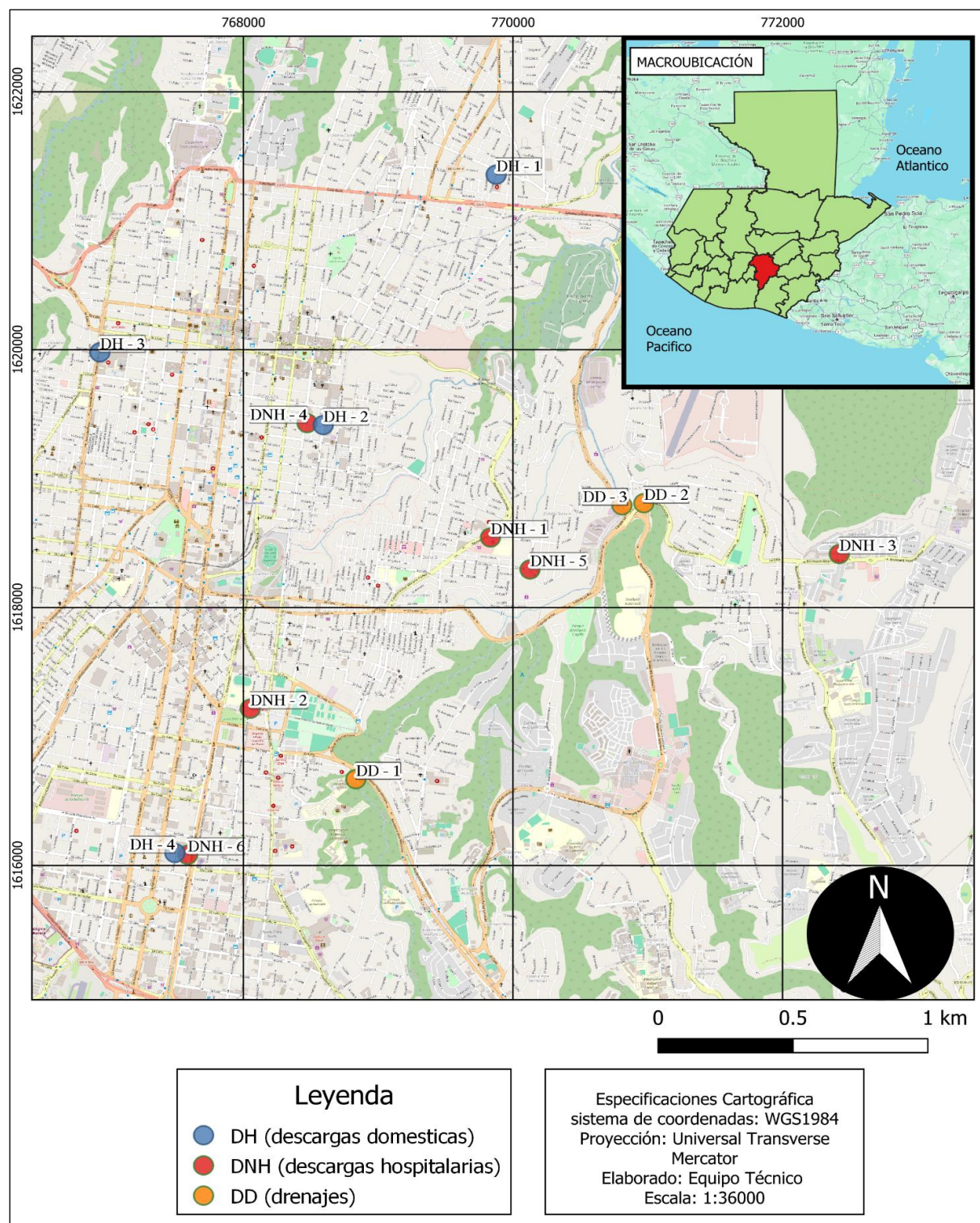
## Método

Los lineamientos de muestreo en la recolección y transporte para la determinación de las concentraciones de nitratos, nitritos, y nitrógeno amoniacal, fueron los establecidos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23ª edición) en la parte 1000, collection and preservation of samples (1060).

En la figura 2 se muestra el mapa de ubicación de los puntos de monitoreo. Posterior al muestreo, las muestras fueron procesadas en laboratorio en un lapso no mayor a 48 horas. Las concentraciones de los compuestos nitrogenados evaluados fueron determinados por medio de espectrofotometría UV-visible con reactivo de HACH.



Figura 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo



Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas estadísticas descriptiva, paramétricas y no paramétricas. Se utilizó los softwares Excel y la versión gratuita de “IBM SPSS” y “Mini Tab” donde se realizaron pruebas de normalidad por medio de la metodología de Shapiro-Wilk para determinar si los datos pertenecen a una distribución normal. También se realizó la comparación de medias y medianas para confirmar y descartar diferencias entre el tipo de descarga y la presencia mayoritaria o minoritaria de los compuestos nitrogenados evaluados.

## Resultados

En la tabla 1, se presentan los resultados de las concentraciones de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal. También los parámetros evaluados en campo como el oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno.

Con los resultados obtenidos se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia del 5%, los resultados de esta se muestran en la tabla 2.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la estadística descriptiva de los datos evaluados por parámetro. Esto incluye la media, mediana, desviación y error estándar, valores mínimos y máximos.

En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para muestras de grupos independientes obtenidos bajo una distribución normal de nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto y pH, considerando un nivel de significancia del 5%. Se muestran la suma de cuadrados, grados de libertad (gl), media cuadrática, cociente entre dos medias cuadráticas (F) y el nivel de significancia.

**Tabla 1. Resultados obtenidos en campo y en laboratorio de las concentraciones de los compuestos evaluados**

Código ID	Tipo	Parámetros evaluados en laboratorio			Parámetros evaluados en campo	
		Nitritos [mg/L NO <sub>2</sub> ]	Nitratos [mg/L NO <sub>3</sub> ]	Nitrógeno Amoniacal [mg/L NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	OD [mg/L]	pH
DNH - 1	Conexión domiciliar	0.11	96.00	42.42	0.90	6.60
DNH - 2	Pozo de visita	1.09	42.24	30.50	1.60	7.20
DNH - 3	Pozo de visita	0.10	19.80	2.13	5.40	6.90
DNH - 4	Conexión domiciliar	0.29	42.40	22.56	1.70	7.10
DNH - 5	Pozo de visita	0.10	50.60	34.34	3.30	7.50
DNH - 6	Conexión domiciliar	0.77	61.16	17.25	4.00	7.40
DH - 1	Conexión domiciliar	0.45	123.64	56.00	1.90	7.50
DH - 2	Pozo de visita	1.33	37.40	55.89	1.30	6.60
DH - 3	Pozo de visita	1.06	0.00	6.06	2.50	6.70
DH - 4	Conexión domiciliar	0.17	27.40	9.76	2.60	7.10
DD - 1	Descarga	0.05	9.24	20.50	1.90	7.30
DD - 2	Descarga	0.06	22.90	21.55	2.20	6.60
DD - 3	Descarga	0.15	22.50	17.17	3.20	7.20

Nota: DNH= descarga de tipo doméstico; DH = descarga de tipo hospitalaria; y DD= descarga a cuerpo receptor.

**Tabla 2. Análisis de normalidad para los datos obtenidos por tipo de descarga**

ID - Parámetro evaluado		Shapiro - Wilk		
		Estadístico	gl	Sig. (P bilateral)
DNH	Nitritos	0.80	6	0.05
	Nitratos	0.93	6	0.60
	N. Amoniacal	0.98	6	0.93
	OD	0.93	6	0.62
	pH	0.97	6	0.87
	T	0.88	6	0.25
DH	Nitritos	0.94	4	0.66
	Nitratos	0.88	4	0.33
	N. Amoniacal	0.76	4	0.05
	OD	0.91	4	0.47
	pH	0.92	4	0.56
	T	0.70	4	0.01
DD	Nitritos	0.82	3	0.17
	Nitratos	0.77	3	0.05
	N. Amoniacal	0.92	3	0.44
	OD	0.91	3	0.42
	pH	0.85	3	0.25
	T	1.00	3	0.89

**Tabla 3. Estadística descriptiva de los datos obtenidos en campo y en laboratorio.**

Parámetro evaluado - ID		N	Media	Mediana	Desv. estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
Nitritos [mg/L NO <sub>2</sub> ]	DNH	6	0.408	0.196	0.423	0.173	0.095	1.089
	DH	4	0.752	0.757	0.533	0.267	0.170	1.325
	DD	3	0.087	0.063	0.054	0.031	0.049	0.149
	Total	13	0.440	0.170	0.459	0.127	0.049	1.325
Nitratos [mg/L NO <sub>3</sub> ]	DNH	6	52.033	46.500	25.480	10.402	19.800	96.000
	DH	4	47.110	32.400	53.413	26.707	0.000	123.640
	DD	3	18.213	22.500	7.774	4.488	9.240	22.900
	Total	13	42.714	37.400	34.551	9.583	0.000	123.640
Nitrógeno Amoniacal [mg/L NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	DNH	6	24.866	26.529	14.213	5.802	2.128	42.421
	DH	4	31.928	32.826	27.773	13.886	6.060	56.000
	DD	3	19.739	20.500	2.286	1.320	17.170	21.547
	Total	13	25.856	21.547	17.321	4.804	2.128	56.000
OD [mg/L]	DNH	6	2.817	2.500	1.715	0.700	0.900	5.400
	DH	4	2.075	2.200	0.602	0.301	1.300	2.600
	DD	3	2.433	2.200	0.681	0.393	1.900	3.200
	Total	13	2.500	2.200	1.227	0.340	0.900	5.400
pH	DNH	6	7.117	7.150	0.331	0.135	6.600	7.500
	DH	4	6.975	6.900	0.411	0.206	6.600	7.500
	DD	3	7.033	7.200	0.379	0.219	6.600	7.300
	Total	13	7.054	7.100	0.341	0.094	6.600	7.500



**Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de comparación de medias de las concentraciones de los compuestos nitrogenados, oxígeno disuelto y pH evaluados**

Parámetro evaluado		gl	F	Sig. (P bilateral)
Nitritos [mg/L NO <sub>2</sub> ]	Entre grupos	2	2.19	0.162
	Dentro de grupos	10		
	Total	12		
Nitratos [mg/L NO <sub>3</sub> ]	Entre grupos	2	1.01	0.400
	Dentro de grupos	10		
	Total	12		
Nitrógeno Amoniacal [mg/L NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	Entre grupos	2	0.40	0.682
	Dentro de grupos	10		
	Total	12		
OD [mg/L]	Entre grupos	2	0.40	0.681
	Dentro de grupos	10		
	Total	12		
pH	Entre grupos	2	0.19	0.833
	Dentro de grupos	10		
	Total	12		

En la tabla 5 se realiza un porcentaje de diferencia relativa entre las concentraciones medias de nitratos y nitrógeno amoniacal.

**Tabla 5. Diferencia relativa entre las concentraciones medias de nitratos y nitrógeno amoniacal.**

Nitratos [mg/L NO <sub>3</sub> ]	Nitrógeno Amoniacal [mg/L NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	%
42.714	25.856	65.2%

## Discusión de resultados

Según los resultados de la tabla 4, se considera que no existen diferencias significativas en los parámetros evaluados. Esto permite realizar una comparación de medias entre las concentraciones de nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto y pH mostrados en la tabla 3.

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz (2013) mencionan que el amonio es el principal compuesto nitrogenado inorgánico en aguas residuales, debido principalmente a la descomposición de materiales proteicos, sin embargo, en los resultados obtenidos se puede observar mediante la comparación de medias de

los muestreos realizados que los compuestos con mayor concentración son los nitratos.

Con la revisión de la comparativa de medias realizadas se observa que el compuesto nitrogenado con mayor presencia son los nitratos con valores medios de 42.714 mg/L. Posterior se encuentra el nitrógeno amoniacal con valores medios de 25.856 mg/L (equivalente a 34.82 mg/L de amonio) y de ultimo los nitritos con valores medios de 0.440 mg/L.

Este fenómeno se puede explicar debido a la presencia de oxígeno disuelto en el agua, este colabora en el proceso de oxidación del nitrógeno amoniacal a nitritos y posteriormente a nitratos.

A lo largo del recorrido en el drenaje, las aguas residuales sufren un proceso de oxigenación, principalmente en los pozos de visita, donde muchas veces por las pendientes de diseño se forman caídas de agua. El valor promedio total de oxígeno disuelto en las aguas residuales analizadas fue de 2.500 mg/L tal como se muestra en la tabla 3.

Gómez-Lucena, Camacho y Rodríguez-Díaz (2023) respaldan lo antes mencionado al haber evaluado el cambio de concentraciones de los compuestos nitrogenados a lo largo de una red de distribución.

Sus resultados arrojan que con condiciones de oxígeno disuelto adecuados las concentraciones iniciales de nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto tienden a reducirse mientras que las concentraciones de nitratos tienden a aumentar

Al realizar comparaciones de la concentración media de nitratos con el nitrógeno amoniacal, y evaluando un porcentaje de diferencia relativa podemos determinar que la concentración de nitratos (42.714 mg/L) es un 65.2% mayor que la concentración de nitrógeno amoniacal (25.856 mg/L), tal como se muestra en la tabla 5.

Con los resultados se puede analizar que los nitritos solo son una fase de transición, teniendo valores muy bajos al compararlos con el nitrógeno amoniacal y los nitratos, esto se justifica considerando el ciclo del nitrógeno, en donde mediante el proceso de nitrificación el nitrógeno amoniacal se oxida en nitritos para posterior oxidarse en nitratos. En los resultados

obtenidos, la concentración media de nitritos es de 0.44 mg/L con un valor máximo de 1.325 mg/L.

Al evaluar los entes generadores de manera independiente, los nitritos en las aguas residuales de origen hospitalaria (DH) con valores medios de 0.752 mg/L, presentan concentraciones medias más altas que los de origen domésticos (DNH) cuyo valor medio fue de 0.408 mg/L.

Para el caso de nitratos y nitrógeno amoniacal la situación es inversa. Las aguas residuales de origen domestico presentan concentraciones medias más altas (nitratos 52.033 mg/L y nitrógeno amoniacal 24.866 mg/L) que las encontradas en las aguas residuales de origen hospitalario (nitratos 47.110 mg/L y nitrógeno amoniacal 31.928 mg/L)

Los resultados estadísticos que se muestran en la tabla 4, muestran que los valores de significancia para todos los valores evaluados son superiores al 5%, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las aguas residuales de origen hospitalario y doméstico.

El alcance del estudio no evaluó otros parámetros como carga orgánica, caudales y otros factores que puedan brindar más interés en la comparativa entre estos dos sectores de generación.

Al momento de analizar el recorrido de las aguas residuales desde la candela hacia la descarga no se puede definir un comportamiento típico, esto debido a que no se realizó trazabilidad de todo el flujo del drenaje.

Tener mayor presencia de nitratos es un tema de evaluación debido a que este es muy nocivo para los humanos. Sin embargo, es menos perjudicial que el nitrógeno amoniacal para la fauna acuática (principalmente peces) debido a que es limitada su absorción a través de las branquias (Cárdenas & Sánchez, 2013).

## Conclusiones

Según los datos expuestos, se puede concluir que los sistemas de drenaje brindan condiciones que favorecen los procesos de nitrificación de las aguas residuales, causando que se dé un proceso de transformación del

nitrógeno amoniacal en nitratos. Esto ocasiona que los nitritos con concentraciones medias de 0.44 mg/L presenten valores muy bajos, debido a que esta etapa solo actúa como transición entre el nitrógeno amoniacal (concentraciones medias de 25.856 mg/L) y los nitratos (concentraciones medias de 42.714 mg/L).

Podemos concluir que las concentraciones medias del nitrato (42.714 mg/L) es un 65.2% mayor que la concentración media de nitrógeno amoniacal (25.856 mg/L)

De igual forma considerando el análisis estadístico de compuestos inorgánicos de nitrógeno efectuado, se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las aguas residuales domésticas y de origen hospitalario.

Los altos niveles de compuestos nitrogenados en los drenajes pueden representar una amenaza para la salud y los ecosistemas, lo que requiere acciones inmediatas para ampliar la investigación y controlar las fuentes de contaminación y proteger la calidad de los cuerpos de agua a largo plazo.

## Agradecimientos

A EMPAGUA por el apoyo en los accesos a drenajes de la Ciudad de Guatemala, así como al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el apoyo dado durante esta investigación.

## Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos propios de los autores y del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) año 2023 y 2024.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

## Como citar este documento

Cáceres Sobalvarro, E.A., & Paque López, C. (2024). Estudio exploratorio de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal en drenaje urbano de Guatemala. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 19(1), 1-11.  
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v19i1.1719>

## Consentimiento informado

No aplica.

## Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: E.A.C.S y C.P.L.

## Referencias

- Agencia para sustancias tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2017). *ToxFAQs - Nitrato y Nitrito*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts204.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts204.html)
- Argueta Galvez, J. E., & Aguilar Carrera, F.A.D. (2017). Efectos de la variabilidad de concentraciones de nutrientes en un medio de algas clorofitas en agua residual. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, 12(1), 26-33. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1426>
- Cárdenas Calvachi, G.L., & Sánchez Ortiz, I.A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1) 72 – 88. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/375>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2023). *Plataforma urbana y de ciudades*. Obtenido de <https://plataformaurbana.cepal.org/es/node/129>
- Cruz Cruz, D., Peña Cabrera, E., Vázquez, M. A., & Villegas Gómez, C. (2019). Nitrógeno: ¿Elemento esencial? Importancia en la química de los productos naturales. *Naturaleza y Tecnología*, 6(2), 16-21. <http://www.naturalezaytecnologia.com/index.php/nyt/article/view/352/pdp>
- Espino Valdes, M. S. (2003). *Estudio de nitrificación-desnitrificación de un efluente secundario de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de reactores biológicos en serie*. [Tesis de graduación de doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/429>
- Fundación para la conservación del agua de la región metropolitana de Guatemala [FUNCAGUA]. (2024). *Clima en Guatemala*. Obtenido de <https://funcagua.org.gt/clima-en-guatemala/>
- Gómez-Lucena, I., Camacho, E., & Rodríguez-Díaz, J. A. (2023). *Modelización de las reacciones de nitrificación en redes de distribución de aguas regeneradas (NITRINET)*. Repositorio Institucional de Producción Científica. <https://hdl.handle.net/10953/2973>
- González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Mente & Materia*, 4(1), 12-13. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/334/pdf>
- Pacheco Ávila, J., & Cabrera Sansores, A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas residuales. *Ingeniería*, 7(2), 47-54. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770204>
- Pacheco Ávila, J., Pat Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medioambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760308>
- Posada Bustamante, B. (1994). La degradación del concreto armado. *Revista Universidad EAFIT*, 30(93), 83–98. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1417>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2023). *Cuatro razones para limitar la contaminación por nitrógeno*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/cuatro-razones-para-limitar-la-contaminacion-por-nitrogeno>
- Samayoa Monzón, M., & Dubois Navas, M. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento del agua residual en el centro de atención de niños Los Cedros y centro de atención de las Rosas, ubicada en Ciudad Nueva, zona 2 de la Ciudad de Guatemala*. Ciudad de Guatemala. [Trabajo de graduación de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala].