

Artículo Científico

Remoción de nutrientes con algas clorofitas generadas en agua residual del efluente de un filtro percolador

Herber Danilo Guerra Quemé

Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria ERIS, USAC, Guatemala
Universidad San Carlos de Guatemala

Dirección para recibir correspondencia herberdanilo@hotmail.com

Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Ingeniero Civil; Profesor titular ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia faguilar@inversionesambientales.com

Recibido 19.11.2015 Aceptado 03.03.2016

Resumen

La remoción de nutrientes en las aguas residuales, ha sido de interés debido a los efectos que provoca cuando están presentes en altas concentraciones, por lo que el presente artículo se enfoca en evaluar la remoción de nutrientes. Se analizaron los parámetros de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) y fosfatos (PO_4^{3-}) del agua residual proveniente del efluente del módulo de filtros percoladores de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos, se evaluaron los parámetros mencionados, en el día de la toma de muestra y el día de mayor presencia de algas generadas de forma natural. La investigación se realizó con 10 muestras que permiten tener un nivel de confiabilidad del 95 % en los resultados obtenidos, se identificó crecimiento máximo de algas con la medición de color verdadero, durante 14 días de observación. Se determinó que el séptimo día a partir de la toma de muestras se presenta el mayor valor de unidades de color con un incremento de 5 UD a 40 UD. El valor promedio de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) disminuyó de 1.15 mg/l a 0.42 mg/l equivalente a una reducción de 63.3%, nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) de 344.3 mg/l a 415.8 mg/l equivalente a una incremento de 20.8% y el fosfato (PO_4^{3-}) de 18.27 mg/l a 13.72 mg/l equivalente a una reducción de 24.9%. Con el objetivo de determinar que sucede con el ciclo del nitrógeno se evaluó el nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$), dando como resultado un incremento de 5.9 veces su valor promedio inicial de 0.2 mg/l a 1.4 mg/l, lo que confirma que en el proceso de remoción se lleva a cabo el ciclo del nitrógeno.

PALABRAS CLAVE: Eutrofización, planta de tratamiento, nitrato, nitrito, fosfato, nitrógeno amoniacal.

Abstract

Nutrient removal in the wastewater, has been of interest due to the effects caused when it is present in high concentrations, so this article focuses on assessing nutrient removal. It analyzed the parameters of nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) and phosphate (PO_4^{3-}) of wastewater, from effluent of the trickling filter module of the plant wastewater treatment University of San Carlos, these parameters were evaluated on the day of the sampling and the day increased presence of algae naturally generated. The research was conducted with 10 samples that allow a confidence level of 95% in the results, maximum growth of algae was identified, This result as a parameter of measuri the true color, during 14 days of observation, it was determined that the seventh day, from sampling, the highest value of true color units (UD) is presented increase of 5 UD to 40 UD. The average value of ammoniacal nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) decreases from 1.15 mg/l to 0.42 mg/l equivalent to a reduction of 63.3%, nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) of 344.3 mg/l to 415.8 mg/l equivalent to a 20.8% increase and phosphate (PO_4^{3-}) of 18.27 mg/l to 13.72 mg/l equivalent to a reduction of 24.9%. With the objective to determine what happens to the nitrogen cycle, nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$) is evaluated, resulting in an increase of 5.9 times the initial average value of 0.2 mg/l to 1.4 mg/l, confirming that the removal process is performed nitrogen cycle.

KEYWORDS: Eutrophication, treatment plant, nitrate, nitrite, phosphate, ammonia nitrogen.

Introducción

Este artículo presenta una metodología para identificar la remoción de nutrientes en el agua residual proveniente de la salida del módulo de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de la universidad de San Carlos de Guatemala. Para ello se determinó el tipo de muestra a evaluar con criterios de exclusión como: continuidad de flujo, operación y mantenimiento de la planta. Se determinó el número de muestras y el período de crecimiento máximo mediante la medición del parámetro de color verdadero; se especificó los métodos para la medición de los parámetros de nitrógeno amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l), nitrito $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l), nitrato $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) y fosfato PO_4^{3-} (mg/l) medidos el día de la toma de muestra y el día de mayor presencia de algas.

Con los resultados obtenidos se determinó la variación de parámetros, los porcentajes de remoción y se hizo un análisis de la información obtenida.

Metodología

En base al criterio de exclusión del agua residual a evaluarse, se define que debe ser agua residual de origen doméstico procedente de la descarga de una planta de tratamiento que posea un tratamiento secundario, por lo que la fuente de obtención de la muestra se considera infinita, por no existir registros que delimiten el número de descargas que cumplan con este criterio.

La delimitación de la muestra, incluyó la aplicación de un primer criterio de exclusión referido al espacio, con el objetivo de hacer viable el proceso de investigación, siendo este criterio plantas de tratamiento de agua residual de tipo doméstico con tratamiento secundario localizada en la ciudad de Guatemala.

Otros criterios de exclusión utilizados para la delimitación de la muestra fueron:

- Calidad de agua residual representativa de origen domestico-municipal.
- Continuidad en el flujo de agua residual.
- Operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Número de muestras

El tamaño de la muestra utilizada fue definido a través del método analítico de una población con un determinado margen de error, mediante la aplicación del método 1060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y agua potable del Standard Methods, conforme al siguiente modelo:

$$N \geq t^2(s/U)^2$$

Dónde:

N = número de muestras.

t = t de Student, para un nivel de confianza determinado.

s = desviación estándar global.

U = es el nivel de incerteza, nivel aceptable de incertidumbre.

El nivel de confianza elegido fue de 95 % por lo que de acuerdo a la figura que relaciona (s/U) del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater del año 2002, página 1-21, la relación (s/U) es 1.33.

Época de muestreo

La muestra de agua residual utilizada, se tomó de forma aleatoria durante los meses de abril y mayo del 2015, se dejó en condiciones naturales de iluminación y temperatura, en un frasco de vidrio con una columna de agua no mayor de 0.30 metros y boca ancha que permita la respiración natural.

Tiempo de máxima producción de algas generadas de forma natural

Fue necesario realizar una serie de observaciones con la finalidad de determinar crecimiento de algas y el tiempo en que este se lleva a cabo.

Durante el período de observación fue necesario identificar el crecimiento máximo de algas mediante los parámetros de color real. (Moreno, Medina, & Albarracín, 2012)

Determinar la remoción de nutrientes

Para definir la variación de nutrientes se realizó una medición en el día de la toma de la muestra y otra el día identificado como máximo crecimiento de biomasa. Definido esto en función del valor de máximo color verdadero obtenido de varias muestras analizadas previamente al estudio.

Los parámetros analizados fueron: nitrógeno amoniacal, nitrato, nitrito y fosfato, porque se considera que el crecimiento de algas es eficaz en la eliminación casi completa de amoníaco, nitrato y fósforo total durante el tratamiento terciario de aguas residuales (Martínez, 2000; Ruiz-Marín, 2010; Zhang, 2008).

Estos parámetros se analizaron utilizando los siguientes procedimientos:

- Nitrógeno amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l):** Método de Nessler para 20 μg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ hasta 5 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$. 4500-NH₃ NITROGEN (AMMONIA). Standard Methods, para la medición se utilizó

el procedimiento Nessler- Sal Rochelle, HATCH

- b) **Nitrito NO₂-N (mg/l):** Método de Reducción de Cadmio.4500-NO₃ - E. Método de Diazotización. 4500-NO₂- B. Standard Methods, procedimiento NitriVer HATCH
- c) **Nitrato NO₃-N (mg/l):** Método de Reducción de Cadmio Automatizado. 4500-NO₃- F., Standard Methods, procedimiento NitraVer HATCH
- d) **Fosfato PO₄³⁻ (mg/l):** Método de Ácido Ascórbico, Standard Methods, procedimiento PhosVer HATCH.

Resultados

Con los criterios de exclusión, se determinó que la planta de tratamiento elegida para la toma de muestras es la planta de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que une los criterios de agua residual con características domésticas y cuenta con tratamiento secundario que es un módulo de filtros percoladores. Esta delimitación no le restó representatividad al estudio, porque el agua residual seleccionada cuenta con datos de calidad realizados por el laboratorio del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala que demuestra características domésticas, que a nivel mundial son reconocidas por entidades como la Organización Panamericana de la Salud OPS y la United States Environmental Protection Agency EPA.

Existe continuidad en el flujo del agua residual porque el sistema seleccionado tiene un flujo superior a las 16 horas al día durante no menos de 5 días a la semana. Se mantiene en operación y recibe un mantenimiento constante con un operador que aseguraba la aplicación de procesos mínimos de mantenimiento y operación.

Numero de Muestras

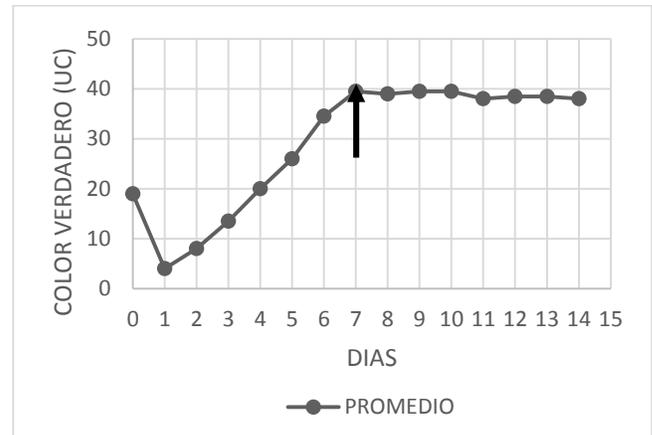
En base al método 1060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y agua potable del Standard Methods, un nivel de confianza de 95 % se determina que el número de muestras fue de 10.

Determinación del día de máximo crecimiento de biomasa

El crecimiento de biomasa en el efluente del filtro percolador, dio resultados positivos, al obtenerse que al séptimo día se observa la mayor concentración de color verde presente en el agua residual (ver figura 1). Los resultado tiene condiciones similares a las encontradas en el estudio realizado por Bermeo

Castillo, L. E. (2011), la cual muestra que el alga *Scenedesmus oblicuus*, presenta un registro máximo de biomasa en un tiempo de 138.50 horas (5.7 días).

Figura 1. "Comportamiento del color verdadero en el tiempo"



Fuente: elaboración propia

Comportamiento de nutrientes

Para la determinación del comportamiento de nutrientes, se tomaron diez muestras en el efluente del filtro percolador, se midieron los parámetros de nitrógeno amoniacal, nitrito, nitrato y fosfato en el día cero y en el día de mayor crecimiento de algas, los resultados se presentan en la Tabla 1.

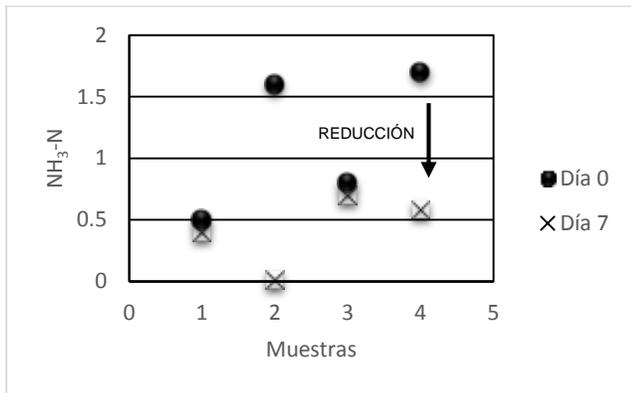
Tabla 1. Valores de nutrientes presentes en la muestra

M	NH ₃ -N mg/l		NO ₂ -N mg/l		NO ₃ -N mg/l		PO ₄ ³⁻ mg/l	
	Día 0	Día 7	Día 0	Día 7	Día 0	Día 7	Día 0	Día 7
1	0.50	0.40	0.22	1.44	365	458	17.3	11.7
2	1.60	0.01	0.14	1.59	260	299	16.9	07.9
3	0.80	0.70	0.14	0.11	339	484	20.1	17.4
4	1.70	0.58	0.31	2.48	414	422	18.8	17.9
5	0.40	0.64	0.11	1.46	348	361	24.6	23.4
6	0.48	0.87	0.03	4.26	497	453	24.6	23.2
7	0.40	0.70	0.05	0.86	286	031	17.8	19.1
8	0.43	1.10	0.05	1.63	374	114	18.9	13.3
9	0.20	0.69	0.02	1.44	299	127	23.5	19.0
10	0.10	0.58	0.04	0.87	294	075	12.9	10.5

Fuente: Elaboración propia

Para el parámetro de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) se obtuvo una remoción del 63.3%, con un valor promedio inicial es de 1.15 mg/l y el final de 0.42 mg/l, las muestras consideradas en este análisis son de la uno a la cuatro (ver Figura 2). Las restantes muestras no se consideraron en la determinación del promedio, porque se obtuvieron incrementos en los resultados, lo cual se explica en el análisis y discusión de resultados.

Figura 2 "Comportamiento del Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), muestras de la 1 a la 4"

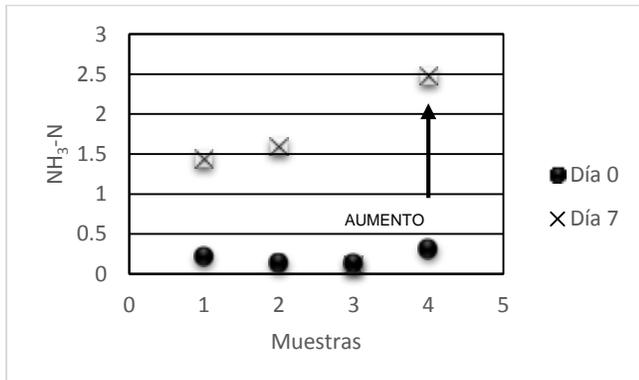


Fuente: elaboración propia

La determinación de nitritos y nitratos se realizó con el objetivo de establecer el comportamiento del ciclo del nitrógeno durante el período de evaluación, observándose en el caso de las muestras de la uno a la cuatro, un incremento en ambos parámetros.

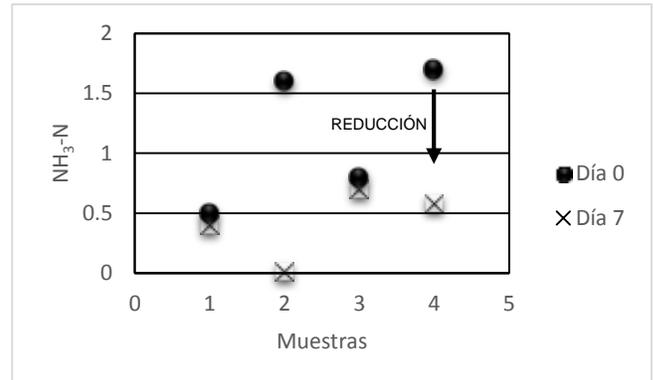
Para el nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) se obtiene un incremento del 5.9% con valor promedio inicial de 0.20 mg/l y final de 1.40 mg/l y para el nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) un incremento de 20.8% con valor promedio inicial de 344.3 mg/l y final de 415.8 mg/l (ver Figura 3 y Figura 4).

Figura 3 "Comportamiento del Nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$), muestras de la 1 a la 4"



Fuente: elaboración propia

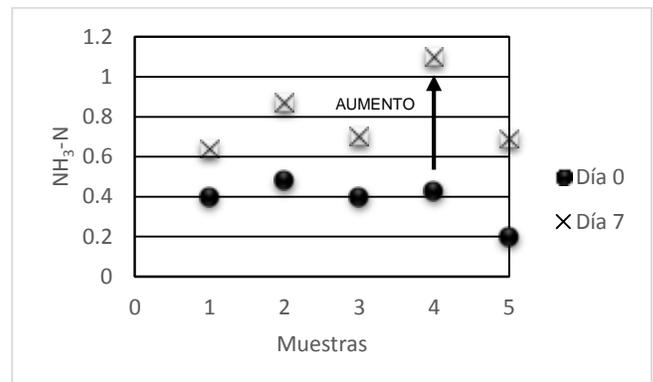
Figura 4 "Comportamiento del Nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), muestras de la 1 a la 4"



Fuente: elaboración propia

En el caso de las muestras 5 a la 10, tuvieron un comportamiento tendiente a incrementar el nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) en un 127.9% siendo el valor promedio inicial de 0.335 mg/l y final de 0.76 mg/l (ver figura 5)

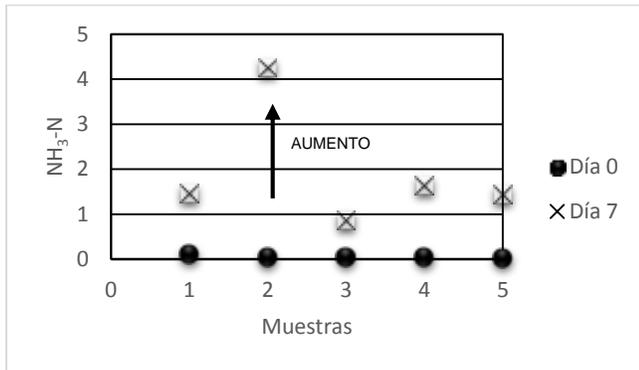
Figura 5 "Comportamiento del Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), muestras de la 5 a la 10"



Fuente: elaboración propia

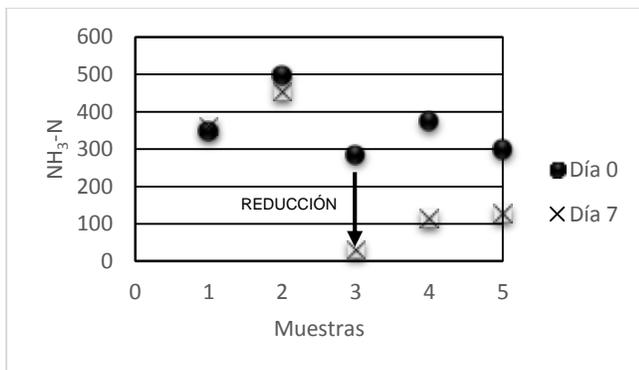
En el caso del nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) para las muestras de la 5 a la 10, se obtuvo un incremento del 3329% (ver Figura 6) siendo el valor promedio inicial de 0.051 mg/l y final de 1.75 mg/l. El nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) para las muestras de la 5 a la 10 se obtuvo una reducción del 44.7% siendo el valor promedio inicial de 349.8 mg/l y el final de 193.60 mg/l (ver Figura 7).

Figura 6 "Comportamiento del Nitrito (NO_2^-N), muestras de la 5 a la 10"



Fuente: elaboración propia

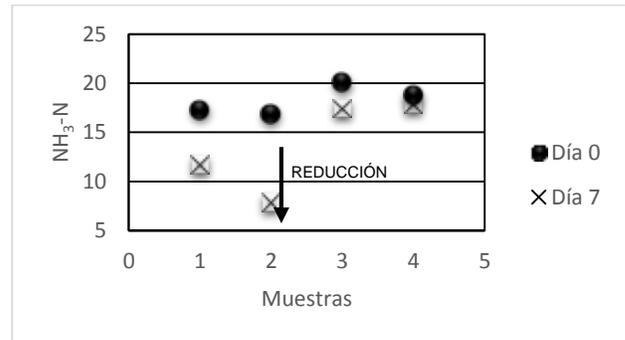
Figura 7 "Comportamiento del Nitrito (NO_3^-N), muestras de la 5 a la 10"



Fuente: elaboración propia

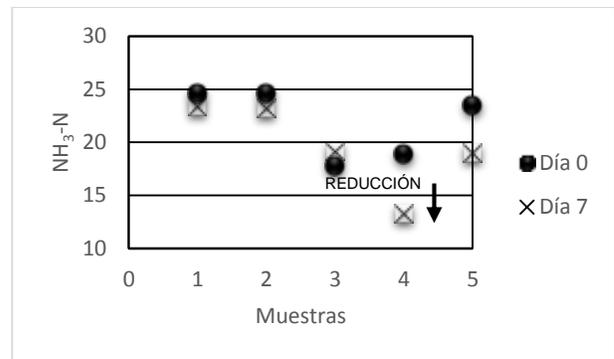
En relación al comportamiento del fosfato (PO_4^{3-}), en las primeras cuatro muestras se observa una reducción del 24.9% siendo el valor promedio inicial de 18.27 mg/l y final de 13.72 mg/l (ver Figura 8), y en las muestras de la cinco a la diez, se reduce el 11.3% siendo el valor promedio inicial de 20.38 mg/l y final de 18.08 mg/l (Figura 9).

Figura 8 "Comportamiento de Fosfato (PO_4^{3-}), muestras de la 1 a la 4"



Fuente: elaboración propia

Figura 9 "Comportamiento del Fosfato (PO_4^{3-}), muestras de la 5 a la 10"



Fuente: elaboración propia

Análisis y discusión de resultados

Durante el desarrollo del estudio, se observó que el máximo crecimiento de biomasa, se presenta en el día siete, día del máximo nivel de color verdadero en un período de catorce días.

El resultado obtenido en relación al máximo crecimiento de biomasa, coincide con los resultados obtenidos por Moreno Marín, A. (2008), quien en su experiencia para determinar la evolución del desarrollo de las algas en un sistema cerrado, con agua proveniente de un decantador secundario y bajo condiciones ambientales naturales (temperatura y radiación solar), observó que las muestras analizadas duplicaban la concentración en suspensión de algas cada día, desde el día cero hasta el día siete, y a partir del octavo día, esta concentración se estabiliza en un promedio de 10^7 individuos por 100 ml.

Asimismo, a través de mediciones diarias de la concentración de biomasa de muestras de agua residual tomadas en la salida del pretratamiento de agua residual de la planta estudiada por, Bermeo Castillo; obtuvo un registro máximo de biomasa de

1.43 SS(g/L) en un tiempo de 138.50 horas (5.7 días) para el alga *Scenedesmus obliquus* Bermeo Castillo, L. E. (2011) .

La remoción del nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) alcanzado fue de 63.3% y de fósforo (fosfato PO_4^{3-}) de 24.9%, sugiriendo esto que la interrelación existente entre los microorganismos presentes en el agua con las algas clorofitas (con evidencia de presencia a los siete días de retención), consumen nitrógeno amoniacal y fosfatos. Es importante resaltar que el resultado obtenido fue en un agua proveniente de la salida de un filtro percolador, la cual se dejó con un período de retención de siete días, en condiciones naturales de intensidad lumínica y temperatura.

Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Ruiz Martínez, A. (2011), quien utilizando agua residual de un sistema de tratamiento anaerobio, logró una remoción del 59.7% de nitrógeno y 78% de fósforo. Resultados similares obtuvo Mahapatra en el 2012, en estudios realizados en agua residual proveniente de un sistema de lagunas de estabilización, en el cual obtuvo una remoción de nitrógeno total de 36% y de nitrito de 57.8%.

Es importante hacer notar que las muestras 1, 2, 3 y 4 presentan una disminución del nitrógeno amoniacal, y un incremento en los nitratos, así como un incremento de nitrito. Este comportamiento indica que en estas muestras se está llevando a cabo un proceso de nitrificación en donde el nitrógeno amoniacal en un proceso aerobio es transformado a Nitrato.

El comportamiento de las muestras 5, 6, 7, 8, 9 y 10 es el siguiente: se incrementa el nitrógeno amoniacal, disminuyen los nitratos, se incrementan los nitritos, y el crecimiento de algas en promedio, es menor al crecimiento promedio de las primeras cuatro muestras, el mismo comportamiento sucede con las algas clorofitas. Este comportamiento significa que existe un proceso de desnitrificación asimilatoria, y los microorganismos presentes en el agua mueren para convertirse en materia orgánica. Posterior a ello existe transformación del nitrógeno orgánico a iones del catión amonio, conociéndose este proceso como amonificación.

En términos generales en cada muestra hubo una reducción del fosfato. Esto significa que efectivamente las algas necesitan de este compuesto para poder crecer.

Conclusiones

Las características del agua residual proveniente del efluente del módulo de filtros percoladores de la PTAR de la USAC, son ideales para generar el crecimiento de algas de forma natural, incrementando el color

verdadero en 35 UD en un periodo de siete días a partir de la toma de muestra.

Las características del agua residual proveniente del efluente del módulo de filtros percoladores de la PTAR de la USAC con presencia de algas tiene la capacidad de reducir el nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) de un valor promedio de 1.15 mg/l a 0.42 mg/l equivalente a una reducción del 63.3%, nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) de 344.3 mg/l a 415.8 mg/l equivalente a un incremento del 20.8%

Las características del agua residual proveniente del efluente del módulo de filtros percoladores de la PTAR de la USAC con presencia de algas tiene la capacidad de reducir fosfato (PO_4^{3-}) en 24.9% de un valor promedio inicial de 18.27 mg/l a 13.72 mg/l.

El nitrito incrementó 5.9 veces su valor inicial de 0.2 mg/l y a 1.4 mg/l, aunado a la disminución del nitrógeno amoniacal lo cual indica que en las muestras se lleva a cabo un proceso de nitrificación en donde el nitrógeno amoniacal en un proceso aerobio da como producto nitratos.

Reconocimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a la Licenciada en acuicultura Susan Jimen Castillo por el apoyo dado en el proceso de identificación de algas y al Ingeniero Zenon Much por su orientación en el laboratorio.

Referencias

- APHA-AWWA-WPC. (1960). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Eleventh. EUA: APHA.
- Bermeo Castillo, L. E. (2011). Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado. España: Universidad Técnica Particular de la Loja.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización (Tercera ed.). Mexico: McGraw Hill Interamericana Editores S.A de C.V.
- Moreno Marín, A. (2008). Fotobiorreactor cerrado como método de depuración de aguas residuales urbanas. Sevilla: Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de la Universidad de Sevilla.
- Ruiz Martínez, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Salazar Gonzalez, M. (2009). Sistemas integrales de tratamiento de aguas residuales, mediante el uso combinado de digestión anaerobia y microalgas. Contactos 73, 16-22.

U.S. EPA. (2000). Wastewater Technology Fast Sheet Trickling Filters. Washington: EPA.

Información de los autores

Ingeniero civil, Herber Danilo Guerra Quemé, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Occidente, 2009. M.Sc. en ingeniería sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos.

Ingeniero Civil, Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con más de 18 años de experiencia docente y profesional. M.Sc. en ingeniería sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos.