

Artículo científico

Efectos de la variabilidad de concentraciones de nutrientes en un medio de algas clorofitas en agua residual

Jeffrey Estuardo Argueta Galvez

Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: jeff_argueta@hotmail.com

Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala

Profesor titular. ERIS-USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia aguilarfelix2013@gmail.com

Recibido: 05.08.2016 Aceptado: 17.08.2016

Resumen

Este artículo presenta un análisis de los efectos que pueden generarse en un medio de cultivo de algas clorofitas si las concentraciones de fosfato, nitrito, nitrato y amonio del agua residual donde se generan, presentan variaciones. Este estudio fue desarrollado con agua residual proveniente de la salida de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala. Esta planta fue seleccionada debido a que posee características típicas de agua residual de origen doméstico, y en estudios previos se constató que era viable el desarrollo de cultivos de algas clorofitas en el agua proveniente de sus filtros percoladores. Para el desarrollo del estudio fue necesario variar las concentraciones originales de nutrientes de la forma siguiente: a) fosfato 204.00-19.00 mg/l; b) amonio 17.50-1.00 mg/l; c) nitrato 114.00-76.00 mg/l; y d) nitrito 1.55-0.10 mg/l. Con estos valores máximos y mínimos se aplicó un diseño experimental factorial con el objetivo de determinar el efecto de las variaciones en la concentración inicial de nutrientes en relación a la concentración final de los mismos. Los resultados mostraron que en el medio de algas clorofitas hay una absorción efectiva de fosfatos, nitratos, amonio y nitritos cuando se presenta el amonio en concentración máxima, el fosfato en concentración mínima, el nitrato en concentración máxima y nitritos en concentración máxima, dando valores de fosfato de 19.00 a 7.08 mg/l, amonio de 17.50 a 8.94 mg/l, nitratos de 116.00 a 60.16 mg/l y nitritos de 1.55 a 0.10 mg/l. Un aspecto importante observado durante la investigación fue que en las combinaciones donde el amonio se encuentra en concentración mínima y el fosfato en concentración máxima no hay una absorción de amonio por parte del medio de algas clorofitas, ya que se obtuvo un efecto negativo teniendo un incremento de amonio máximo de 1.00 a 2.33 mg/l. Finalmente se determinó que el efecto de las concentraciones máximas y mínimas de nitrito no tienen incidencia en cuanto a la absorción de los nutrientes en el medio de algas clorofitas.

PALABRAS CLAVE: Absorción de nutrientes, amonio, fosforo, microalgas, contaminación, eutrofización.

Abstract

This article present an analysis of the effects that can be generated in a culture medium of algae chlorophytes if concentrations of phosphate, nitrite, nitrate and ammonium wastewater where they are generated, present variations. This study was developed with residual water from the outlet of trickling filter of treatment plant of the Universidad de San Carlos de Guatemala, located in zone 12 of Guatemala City. This plant was selected because it has typical wastewater of domestic origin characteristics, and previous studies was found to be viable crop development chlorophytes algae in water from its trickling filters. For the development of the study was necessary to change the original nutrient concentrations as follows: a) phosphate from 204.00 to 19.00 mg / l; b) ammonium 17.50-1.00 mg / l; c) Nitrate 114.00-76.00 mg / l; and d) nitrite 1.55-0.10 mg / l. These maximum and minimum values a factorial experimental design with the aim of determining the effect of variations in the initial concentration of nutrients relative to the final concentration thereof was applied. The results showed that in the middle of chlorophyte algae no effective absorption of phosphates, nitrates, ammonium and nitrites when ammonium is present in high concentration, the phosphate in low concentration, the nitrate maximum concentration and nitrite maximum concentration, giving values 19.00 phosphate to 7.08 mg / l, 17.50 to 8.94 ammonium mg / l, nitrates 116.00 to 60.16 mg / l, nitrite 0.10 to 1.55 mg/l. An important aspect observed during the research was that in combinations where the ammonia is in a low concentration and phosphate in concentration no absorption ammonium by the means of chlorophyte algae as a negative effect was obtained having an increased maximum ammonium 1.00 to 2.33 mg / l. Finally it was determined that the effect of the maximum and minimum concentrations of nitrite have no impact in terms of the absorption of nutrients in the medium of algae chlorophytes.

KEY WORDS: Nutrient absorption, ammonium, phosphorus, microalgae, contamination, eutrophication.

Introducción

Al utilizar un sistema de tratamiento con algas clorofitas para remover nutrientes, es necesario saber cuál es el comportamiento que se puede dar al tener diferentes tipos de concentraciones de los nutrientes y como estos afectan al medio de algas, ya que en las aguas residuales típicas se tienen diferentes valores de concentraciones de nutrientes.

Este artículo busca mostrar el efecto que tiene la variación de las concentraciones iniciales de fosfato, nitrito, nitrato, amonio, en la absorción de estos nutrientes por parte de un cultivo de algas clorofitas desarrolladas de forma natural en el agua residual proveniente del filtro percolador de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala.

Los resultados del estudio permitirán definir la variable que mayor impacto tiene sobre el nivel de absorción de nutrientes en un cultivo de algas clorofitas, para lo cual fue necesario desarrollar un diseño experimental factorial que permitió realizar diversas combinaciones de los valores máximos y mínimos de nitritos, nitratos, amonio y fosfato.

Para el estudio fue necesario incrementar y reducir las concentraciones de los nutrientes evaluados, utilizando diferentes soluciones de difosfato de potasio, nitrato de amonio, nitrito de sodio y cloruro de amonio para establecer los valores máximos y mínimos.

Los resultados demostraron que hay combinaciones de los nutrientes donde el efecto puede ser positivo, negativo o no tener ninguna incidencia, en cuanto a la capacidad de absorción de los nutrientes en el medio de algas.

Se determinó que en la combinación de amonio, nitrato y nitrito en concentraciones mínimas el fosfato se ve afectado considerablemente dentro del medio de algas clorofitas, ya que se reduce de 19 a 5.12 mg/L.

Antecedentes

Las algas clorofitas desarrolladas de forma natural en aguas residuales domésticas han sido poco estudiadas, ya que la mayoría de estudios se enfocan en el cultivo de las algas, sin embargo, C. Chacon en el año 2002, desarrolló una investigación utilizando un medio de cultivo de algas clorofitas en agua residual esterilizada (ausencia de bacterias) y no esterilizada (agua residual natural). En este estudio se obtuvo una

remoción máxima de P-PO₄ para *Chlorella* sp., de 44,0% en agua residual esterilizada y no esterilizada un máximo de 48,0%. En el caso del alga *Scenedesmus* sp., se obtuvieron valores de remoción de 48,7% en agua residual no esterilizada y 42.0% en agua residual esterilizada.

En ese mismo estudio se analizó el comportamiento en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), tanto para el alga clorofita *Scenedesmus* sp., como para el alga clorofita *Chlorella* sp., en agua residual esterilizada y no esterilizada. Para el alga clorofita *Scenedesmus* sp., se obtuvo una remoción del 55,8% en agua residual esterilizada, mientras que el alga clorofita *Chlorella* sp., alcanzó un máximo del 54,8% en agua residual no esterilizada a las 24h. Los resultados mostraron que ambas especies de microalgas ofrecen una buena alternativa para el tratamiento de las aguas residuales. (C. Chacón, 2002)

Una de las desventajas de la eliminación de nutrientes usando algas como tratamiento biológico es la producción de biomasa en suspensión, para lo cual en los últimos años se ha realizado diversos estudios aplicando una serie de filtros y/o compuestos químicos para retirar la biomasa que se genera en este tipo de aplicaciones. Otras tecnologías investigadas con este objetivo es la inmovilización del cultivo de algas utilizando estropajos, esponjas y otros materiales en los cuales se adhieren las algas, y evitar que estas se trasladen al efluente de los sistemas de tratamiento. (de Bashan & Bashan, 2003)

Metodología

El diseño utilizó una metodología experimental, en la cual se varió a valores máximos y mínimos las concentraciones de fosfato, amonio, nitrito y nitrato en el agua residual recolectada de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos. Cada una de estas variaciones implicó realizar una serie de combinaciones con el objetivo de establecer el nivel de impacto que cada variación puede ejercer en el resultado de absorción de nutrientes por parte del cultivo de algas clorofitas.

Cada una de las muestras de agua residual modificadas según la combinación seleccionada, se mantuvo en condiciones naturales de iluminación y temperatura durante un período de 12 días, momento en el cual se realizó la identificación de presencia de algas clorofitas y lectura de niveles de nutrientes, procediendo con ello a establecer el nivel de absorción que se presenta de nutrientes en el medio de cultivo generado durante los 12 días de retención.

Con base en los resultados obtenidos, se realizó el análisis para determinar el nivel de influencia que puede tener cada combinación en el nivel de absorción de nutrientes por parte del cultivo de algas clorofitas generadas.

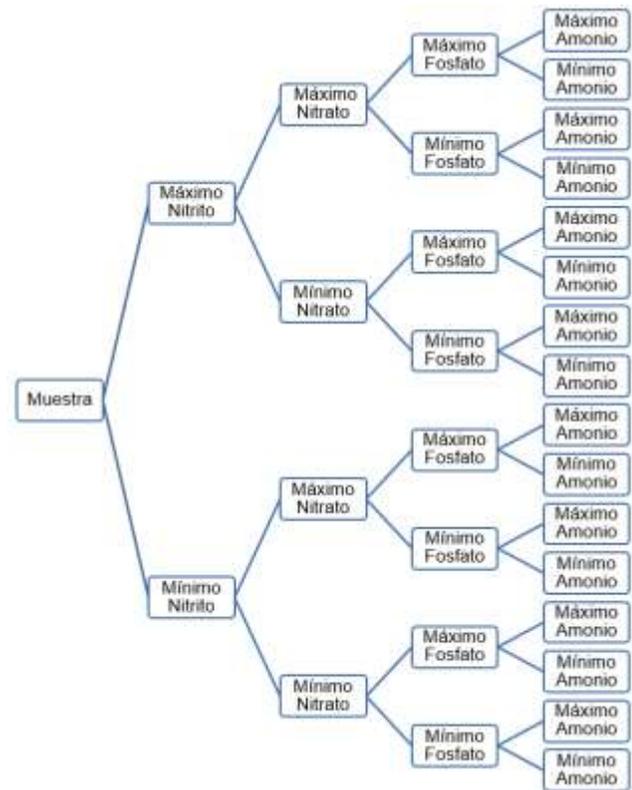
Número de muestras a realizar

Para determinar las diferentes combinaciones de los niveles de los nutrientes se realizó un diseño experimental factorial, se establecieron 2 niveles de combinación, valores máximos y mínimos, para determinar las condiciones que podrían tener un efecto de variabilidad en cuanto a la capacidad de absorción del medio de las algas clorofitas. En la ecuación que a continuación se indica, la variable “N” le corresponde la cantidad de nutrientes que se analizarán (nitrito, fosfato, amonio, nitrato).

$$Nivel^N \Rightarrow 2^4 = 16 \text{ combinaciones}$$

Al tener las 16 combinaciones, ver figura 1, se decidió realizar 3 réplicas de las mismas, con el fin de comparar los datos y tener valores en promedio significativos, es decir, se utilizaron 48 muestras para realizar el estudio, en donde se estudia el comportamiento de los 4 nutrientes, es decir, 192 datos.

Figura 1. Diagrama de combinaciones



Fuente. Elaboración propia

Concentraciones establecidas

Para establecer los valores máximos y mínimos de las diferentes concentraciones de fosfato, amonio, nitrito y nitrato, se monitoreó la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos durante 3 días, en horario de 8 de la mañana a 3 de la tarde. La determinación de estos parámetros se realizó con un espectrofotómetro HACH Modelo DR2500. Los valores máximos y mínimos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes máximas y mínimas en la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Nutrientes	Concentraciones (mg/l)	
	Máximo	Mínimo
Fosfato	204.00	19.00
Amonio	17.50	1.00
Nitrito	1.55	0.20

Nutrientes	Concentraciones (mg/l)	
	Máximo	Mínimo
Nitrato	116.00	76.00

Fuente. Elaboración Propia

Variación de las muestras

Teniendo los valores máximos y mínimos de fosfato, amonio, nitrito y nitrato que pueden presentarse en la planta de tratamiento, se estableció un procedimiento a nivel de laboratorio para modificar los valores iniciales de las muestras que se tomarían de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos, a efecto de llevarlos a los valores máximos y mínimos identificados. Este procedimiento, contempló la aplicación de soluciones de nitrato de potasio, nitrito de sodio, cloruro de amonio y difosfato monosódico en las cantidades siguientes:

Tabla 2. Cantidad de solución utilizada por muestra

Nutrientes	Concentraciones (mg/l)		Solución	Cant. de solución (ml)
	Máximo	Mínimo		
Fosfato	204.00	19.0	Difosfato monosódico	18.50
Amonio	17.50	1.0	Cloruro de amonio	3.30
Nitrito	1.55	0.2	Nitrato de potasio	8.00
Nitrato	116.00	76.0	Nitrito de sodio	2.90

Fuente. Elaboración propia

La solución utilizada se preparó de acuerdo a las diluciones siguientes:

- NH_4Cl en solución de 15.65 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de $1\text{ ml} = 5\text{ mg}/NH_3$
- KNO_3 en solución de 36.09 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de $1\text{ ml} = 5\text{ mg}/NO_3$

- $NaNO_2$ en solución de 2.46 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de $1\text{ ml} = 0.5\text{ mg}/NO_3$
- KH_2PO_4 en solución de 43.90 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de $1\text{ ml} = 10\text{ mg}/NO_3$

Resultados

Para determinar cuál es el efecto de las concentraciones de los nutrientes en el medio de algas clorofitas, se presentan las 16 combinaciones con sus valores promedios de concentraciones iniciales y finales de cada uno de los nutrientes, con el fin de observar cual es la combinación más efectiva en cuanto a la absorción del nutriente que interesa en el medio de algas clorofitas.

Los resultados y análisis de los efectos de concentración de nutrientes en un medio de algas clorofitas se presentan de manera separada, haciendo el análisis de tablas y figuras para cada uno de los nutrientes, amonio, fosfato, nitrato y nitrito.

Las combinaciones utilizadas para las distintas concentraciones de nutrientes resultantes del diseño experimental factorial se muestran en la tabla No.3.

Tabla 3. Combinaciones de concentraciones de nutrientes

No.	Concentración de nutrientes			
Combinación 1	Mínimo amonio,	Mínimo fosfato,	Mínimo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 2	Máximo amonio,	Mínimo fosfato,	Mínimo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 3	Mínimo amonio,	Máximo fosfato,	Mínimo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 4	Máximo amonio,	Máximo fosfato,	Mínimo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 5	Mínimo amonio,	Mínimo fosfato,	Máximo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 6	Máximo amonio,	Mínimo fosfato,	Máximo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 7	Mínimo amonio,	Máximo fosfato,	Máximo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 8	Máximo amonio,	Máximo fosfato,	Máximo nitrato,	Máximo nitrito
Combinación 9	Mínimo amonio,	Mínimo fosfato,	Mínimo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 10	Máximo amonio,	Mínimo fosfato,	Mínimo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 11	Mínimo amonio,	Máximo fosfato,	Mínimo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 12	Máximo amonio,	Máximo fosfato,	Mínimo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 13	Mínimo amonio,	Mínimo fosfato,	Máximo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 14	Máximo amonio,	Mínimo fosfato,	Máximo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 15	Mínimo amonio,	Máximo fosfato,	Máximo nitrato,	Mínimo nitrito
Combinación 16	Máximo amonio,	Máximo fosfato,	Máximo nitrato,	Mínimo nitrito

Fuente. Elaboración Propia

Efectos de la variabilidad de concentraciones en amonio

Los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones en relación a la capacidad de

absorción de amonio que sucede en el medio de algas clorofitas se muestran en la tabla No.4 y se representan en la figura No.2.

Tabla 4. Valores promedio de absorción de amonio, para las distintas combinaciones de nutrientes utilizadas.

NO.	COMBINACIONES	NH ₄ ⁺ (mg/l)	
		Inicial	Final
1	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.00	0.95
2	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	17.50	8.94
3	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.00	2.33
4	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	17.50	37.23
5	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.00	0.95
6	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	17.50	8.94
7	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.00	2.05
8	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	17.50	10.43
9	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	1.00	0.38
10	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	17.50	12.66
11	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	1.00	1.52
12	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	17.50	11.17
13	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	1.00	0.10
14	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	17.50	7.45
15	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	1.00	1.81
16	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	17.50	8.56

Fuente. Elaboración Propia

Figura 2. Comportamiento de remoción de amonio según la combinación utilizada



Fuente. Elaboración Propia

La mayor capacidad de absorción del nutriente de amonio que ocurre en el medio de algas clorofitas se observa en las combinaciones No.13 y No.14. En estas combinaciones como se observa en la tabla No.4, hay una disminución máxima de la concentración del amonio, se da una absorción de amonio máxima, obteniéndose valores reducidos de 17.50 a 7.45 mg/l y de 1.00 a 0.10 mg/L

En las combinaciones 3, 7, 11, 15 se observa un incremento en la concentración de amonio, concluyéndose que no existe un efecto de absorción del medio de las algas en las condiciones que se presentan en estas combinaciones, siendo el ejemplo más evidente el de la combinación 3, la cual registró un incremento de 1.00 a 2.33 mg/l..

Finalmente se puede observar dos combinaciones con un efecto prácticamente nulo, presentándose estas en las combinaciones 1 y 5, habiéndose obtenido variaciones de 1.00 a 0.95 mg/l. Por lo que se puede apreciar que en presencia de valores máximos de nitrito y mínimo de fosfato y amonio, se tiene una absorción nula de amonio, no teniendo ningún efecto significativo los valores máximos o mínimos de nitrato.

Efectos de la variabilidad de concentraciones en fosfato

Para realizar el análisis de los efectos de variabilidad que ocurren con el fosfato se obtuvieron datos de las diferentes combinaciones en el medio de algas clorofitas como se observa en la tabla No.5 y se representan en la figura No.3.

Tabla 5. Valores promedio de absorción de fosfato para las distintas combinaciones de nutrientes utilizadas

NO.	COMBINACIONES	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	
		Inicial	Final
1	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	19.00	7.08
2	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	19.00	7.08
3	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	204.00	87.04
4	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	204.00	150.35
5	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	19.00	9.26
6	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	19.00	7.08
7	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	204.00	158.26
8	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	204.00	164.59
9	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	19.00	5.12
10	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	19.00	8.17
11	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	204.00	133.73
12	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	204.00	145.60
13	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	19.00	5.44
14	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	19.00	41.38
15	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	204.00	192.29
16	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	204.00	193.87

Fuente. Elaboración Propia

Figura 3. Comportamiento de remoción de fosfato según la combinación utilizada



Fuente. Elaboración Propia

Según los datos obtenidos de la tabla No.5 se puede observar que ocurre una absorción mayor del medio de algas clorofitas en cuanto al fosfato en las combinaciones 3 y 9. En estas combinaciones cuando el fosfato se encuentra en concentración máxima se reduce de 204.00 a 87.40 mg/l y cuando es mínima de 19.00 a 5.12 mg/L.

Se observa un incremento de la concentración de fosfato en la combinación 14, ya que según el resultado de la tabla No.5 se obtuvo un incremento de 19.00 a 41.38 mg/l.

No hay un efecto significativo en cuanto a la disminución considerable o aumento del fosfato en el medio de algas en las combinaciones 15 y 16 establecidas en la tabla No.3, ya que el fosfato tuvo un comportamiento de 204.00 a 193.87 mg/l, este comportamiento se da cuanto se tiene fosfato y nitrato en valores máximos y nitrito en valores mínimo, no teniendo ninguna incidencia los valores máximos y mínimos de amonio en la absorción de fosfato.

Efectos de la variabilidad de concentraciones en nitrato

Los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones en relación a la capacidad de absorción de nitrato que sucede en el medio de algas clorofitas se muestran en la tabla No.6 y se representan en la figura No.4.

Tabla 6. Valores promedio de absorción de nitrato, para las distintas combinaciones de nutrientes utilizadas.

NO.	COMBINACIONES	NO ₃ ⁻ (mg/l)	
		Inicial	Final
1	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	76.00	36.19
2	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	76.00	99.52
3	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	76.00	45.24
4	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	76.00	57.30
5	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	116.00	88.78
6	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	116.00	65.10
7	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	116.00	50.31
8	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	116.00	34.03
9	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	76.00	57.30
10	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	76.00	72.38
11	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	76.00	45.24
12	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	76.00	63.33
13	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	116.00	59.18
14	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	116.00	47.35
15	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	116.00	32.55
16	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	116.00	59.18

Fuente. Elaboración Propia

Figura 4. Comportamiento de remoción de nitrato según la combinación utilizada.



Fuente. Elaboración Propia

En la tabla No. 6, se puede observar que las combinaciones 1 y 15 son las que muestran una mayor absorción de nitrato, reduciéndose los valores iniciales de 76.00 a 36.19 mg/l., y de 116.00 a 32.55 mg/l., respectivamente.

De todas las combinaciones, se puede observar que en la No. 2, se presenta un incremento en la concentración de nitrato, aumentando de un valor de 76.00 mg/l., a 99.52 mg/l.

En la combinación No. 10, se pudo observar que no se tiene un efecto significativo en el nivel de absorción de nitrato, debido a que de un valor inicial de 76.00 mg/l., se llegó a un valor final de 72.38 mg/l.

Efectos de la variabilidad de concentraciones en nitrito

Para realizar el análisis de los efectos de variabilidad que ocurren con el nutriente de nitrito se obtuvieron datos de las diferentes combinaciones en el medio de algas clorofitas como se observa en la tabla No.7 y se representan en la figura No.5.

Según los datos obtenidos de la tabla No.7 se puede observar un mayor nivel de absorción de nitrito en las combinaciones 1 y 8. La combinación No. 1, redujo el nivel de nitrito de 1.55 mg/l., a 0.05 mg/l., mientras que en la combinación No. 8 se redujo de 1.55 mg/l., a 0.02 mg/l.

Es importante observar el comportamiento obtenido cuando la concentración de nitrito en las combinaciones de la 9 a la 16 se encuentra en valor mínimo (0.10 mg/l.), todos los valores finales de nitrito se incrementaron, no obteniéndose ninguna absorción de este elemento, maximizándose esta condición en la combinación No. 15, la cual presentó un valor inicial de 0.10 mg/l., y un final de 6.27 mg/l.

Finalmente cuando se presenta la combinación de amonio en su valor mínimo, pero fosfato, nitrato y

nitrito en valores máximos, el efecto de absorción es poco significativo al haberse obtenido un valor inicial de 1.55 mg/l., y un valor final de 1.49 mg/l.

Tabla 7. Valores promedio de absorción de nitrito, para las distintas combinaciones de nutrientes utilizadas

NO.	COMBINACIONES	NO ₂ ⁻ (mg/l)	
		Inicial	Final
1	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.05
2	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.16
3	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.96
4	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.58
5	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	1.07
6	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.11
7	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	1.49
8	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MaxNO ₂ ⁻	1.55	0.00
9	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	2.14
10	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	0.59
11	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	1.82
12	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MinNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	1.36
13	MinNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	2.73
14	MaxNH ₄ ⁺ MinPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	0.64
15	MinNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	6.27
16	MaxNH ₄ ⁺ MaxPO ₄ ⁻³ MaxNO ₃ ⁻ MinNO ₂ ⁻	0.10	0.27

Fuente. Elaboración Propia

Figura 5. Comportamiento de remoción de nitrito según la combinación utilizada



Fuente. Elaboración Propia

Conclusiones

Se determinó que para que exista una absorción considerable de todos los nutrientes por el medio de algas clorofitas, se debe dar la combinación de concentraciones siguientes, para el amonio al máximo, el fosfato al mínimo, el nitrato al máximo y el nitrito al máximo, obteniendo los valores siguientes fosfato de 19.00 a 7.08 mg/l, amonio de 17.50 a 8.94 mg/l, nitratos de 116.00 a 60.16 mg/l y nitritos de 1.55 a 0.10 mg/l,

En las combinaciones cuando el amonio se encuentra al mínimo con las otras concentraciones de nutrientes,

se tiene un incremento del nutriente de amonio. Se registró un valor máximo de incremento de 1.00 a 2.33 mg/l.

El medio de algas clorofitas presentó una capacidad de absorción mayor de fosfato, en la combinación donde los nutrientes fosfato, amonio, nitrato y nitrito se encuentran en concentraciones mínimas. En esta combinación se reduce el fosfato de 19.00 a 5.12 mg/L.

La mayor capacidad de absorción del nutriente de amonio que ocurre en el medio de algas clorofitas se observa en la combinación de amonio al mínimo, fosfato al mínimo, nitrato al máximo y nitrito al mínimo. Se redujo el amonio de 1.00 a 0.10 mg/L

Cuando el nitrato y el fosfato se encuentran en concentración máxima, se obtiene una absorción mayor por el medio de algas clorofitas de nitrato que de fosfato.

La combinación donde se obtiene una absorción mayor de nitrato por el medio de algas clorofitas es la siguiente: amonio al mínimo, fosfato al máximo, nitrato al máximo y nitrito al mínimo. Hay una reducción de 116.00 a 32.55 mg/l en cuanto a la concentración de nitratos.

Referencias

CHACON CARMEN, ANDRADE Charity, (2002). Uso de *Chlorella* sp, y *scenedesmus* sp en la remoción de nitrógeno, fosforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo Venezuela. Venezuela: Centro de investigación del Agua, Universidad de Zulia Maracaibo. 15p

DE BASHAN, LUZ E.; BASHAN, YOAV, (2003). Bacterias promotoras de crecimiento de microalgas: una nueva aproximación en el tratamiento de aguas residuales (México)

GUERRA HERBER, ZEA MARIO, (2015). Identificación de presencia de algas generadas en los efluentes del sistema de filtros percoladores de la planta de tratamiento Ing. Arturo Pasos Sosa, para uso potencial en remoción de nitrógeno y fosforo presentes en el agua residual. (ERIS, USAC)

HERNÁNDEZ REYES, B., RODRÍGUEZ PALACIO, M.M LOZANO RAMÍREZ, C., & CASTILLA HERNÁNDEZ, P, (2012). Remoción de nutrientes por tres cultivos de microalgas

libres e inmovilizados. Revista Latinoamericana.

RUIZ MARTÍNEZ, (2011).Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. España: Universidad Politécnica de Valencia.

RUIZ MARIN A. MENDOZA ESPINOZA. (2009). Growth and nutrient removal in free and immobilized Green algae in batch and semi-continues cultures treating real wastewater. USA.

Información del autor:

Ingeniero civil, Jeffrey Estuardo Argueta Galvez, graduado en la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. Maestro en ciencias en ingeniería sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, maestro en ciencias en ingeniería sanitaria e ingeniero civil graduado de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Profesor titular de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, con más de 18 años de experiencia docente y profesional.