

## Capacidad de remoción de las algas clorofitas en condiciones críticas de nutrientes en aguas residuales de filtros percoladores

Rafael Arturo Blandón Blandón  
Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala  
Dirección para enviar correspondencia: rafablandon@gmail.com  
Félix Douglas Aguilar  
Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, USAC, Guatemala  
Profesor titular ERIS – USAC, Guatemala  
Dirección para recibir correspondencia aguilarfelix2013@gmail.com  
Recibido: 24.08.2016      Aceptado: 29.09.2016

### Resumen

El presente artículo muestra los niveles de remoción de nitritos, nitratos, fosfatos y amonio que se pueden lograr mediante el uso de algas clorofitas (*Microsistis Sp*, *Chlorella Sp*, *Closteriopsis* y *Sphaerocystis*) cuando los niveles de nutrientes iniciales se encuentran en condiciones críticas (valores máximos y mínimos), en agua residual proveniente de la salida del filtro percolador de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En la fase experimental se realizaron alteraciones a máximos y mínimos de nutrientes producidos por la planta para luego monitorear la eficiencia de remoción de los mismos a los 12 días de crecimiento natural de las algas en las muestras al ser estas expuestas a la radiación solar. La remoción de amonio se dio en un 25.55%, es decir de 17.50 mg/l a 13.03 mg/l al estar en su máximo nivel. En el caso del fosfato la disminución fue de 19.00 mg/l a 8.53 mg/l o sea un 55.10% en niveles mínimos mientras que las muestras con niveles máximos la reducción fue de 204.00 mg/l a 155.89 mg/l, es decir una reducción del 23.58%. De igual forma se logra una reducción en ambos límites para el caso del Nitrato, los valores se reducen de 116.00 mg/l a 53.64 mg/l equivalente a un 53.76% de remoción cuando la concentración es máxima mientras que cuando presenta el límite inferior de concentración solo remueve el 44.78% por disminuir de 76.00% a 41.97%. Los Nitritos presentan una reducción de un 56.78% es decir de 1.55 mg/l a 0.67 mg/l cuando este nutriente presenta niveles de concentración máxima. Este artículo es una investigación realizada con fines demostrativos de un sistema de tratamiento de aguas residuales usando algas clorofitas con crecimiento de forma natural es una opción muy viable para evitar la eutrofización de los cuerpos de agua receptores.

PALABRAS CLAVE: Eutrofización, Fitoplancton, Algas, Plantas de Tratamiento, Fotobiorreactor

### Abstract

*The present article shows the levels of removal of nitrites, nitrates, phosphate and ammonium that can be achieved by means of the use of seaweed clorofitas (Microsistis Sp, Chlorella Sp, Closteriopsis and Sphaerocystis) when the levels of initial nutrients are in critical conditions (maximum and minimal values), in waste water originated from the exit of the filter percolador of the University of San Carlos of Guatemala. In the experimental phase alterations realized to maxima and minimums of nutrients produced by the plant then monitorear the efficiency of removal the same to 12 days of natural growth of the seaweed in the samples to the being these exposed to the solar radiation. The ammonium removal was given in 25. 55 %, that is to say of 17.50 mg/l to 13. 03 mg/l have maximum level. In case of the phosphate the decrease was 19.00 mg/l to 8. 53 mg/l or 55. 1 % in minimal levels whiles the samples at maximum levels the reduction was 204.00 mg/l to 155. 89 mg/l, that is to say a reduction of 23.58 %. In the same way a reduction is achieved in both limits for the case of the Nitrate, the values come down of 116.00 mg/l to 53.64 mg/l equivalently to 53.76 % of removal when the concentration is maximum while when it presents the alone low concentration limit it removes 44. 78% decrease 76.00% to 41.97%. The Nitrites present a reduction of 56.78 % that is to say of 1.55 mg/l to 0.67 mg/l when this nutrient presents concentration levels maximum. This article is an investigation realized with demonstrative purpose of a system of treatment of wastes water using seaweed clorofitas with growth of natural form may viable option to avoid the eutrofización of the receiving bodies of water.*

**KEY WORDS:** eutrophication, phytoplankton, algae, Treatment Plant, Photobiorreactor.

## Introducción

Existen estudios que datan hasta 50 años la investigación de eliminación de nutrientes mediante el uso de algas clorofitas (Oswald, 1955) En la década de los años 60, a través del trabajo realizado por Oswald, se introduce el concepto de utilizar cultivos másicos de algas a gran escala para el tratamiento de agua residual.

La remoción de nutrientes como nitrógeno amoniacal y fosforo, además DBO y DQO se ha estudiado en Latinoamérica a través de la Fitoremediación en sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. Sin embargo no se tiene evidencia que muestre cual puede ser la capacidad de remoción de nutrientes de las algas clorofitas, cuando se presentan niveles críticos de nutrientes (valores altos y bajos) previo al crecimiento de algas en aguas residuales domésticas, siendo este el objetivo del presente artículo

Para el desarrollo del presente artículo, se utilizó el efluente del sistema de filtros percoladores de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Durante el estudio, fueron identificadas el tipo de algas clorofitas presentes en dichas muestras de agua residual, y su tiempo de crecimiento máximo, el cual fue utilizado como período de máxima observación del nivel de remoción de nutrientes cuando las muestras fueron modificadas a sus niveles máximos y mínimos de fosfato, nitrato, nitrito y amonio.

Se identificó 4 tipo de algas clorofitas, siendo estas las *Microsistis Sp*, *Chlorella Sp*, *Closteriopsis* y *Sphaerocystis*. Es importante indicar que de las cuatro especies identificadas, el alga *Chlorella Sp.*, es la que presenta mayor interés en sus procesos de remoción de nutrientes en aguas residuales domésticas, determinandose que esta logra su mayor volumen de biomasa a los 12 días.

Del análisis del artículo realizado, se concluye que existe una remoción máxima de fosfato de 55.10% cuando este tiene valores mínimos al inicio de 19.00 mg/l, mientras que para los nitratos, su máxima remoción de 53.76% se da cuando los nitratos están en su valor máximo de 116.00 mg/l. Los nitritos presentan su máxima remoción de 56.78% al presentar valores iniciales máximos de 1.55mg/l. De igual forma se presenta una remoción en amonio de 25.55% cuando tiene valores máximos de 17.50 mg/l

## Antecedentes

El uso de algas clorofitas para la eliminación de nutrientes tiene un largo trayecto de desarrollo, tanto

así que a lo largo de más de 50 años se ha investigado (Oswald, 1955., Abalde et al., 1995; Andrade et al., 2009; Becker, 1994; EPA, 1999; Hanumatha-Rao et al., 2011; Hoffmann, 1998; Larsdotter, 2006; Lavole y de la Noüe, 1985; Mendez-Suaza et al., 2011; Olguin, 2003; Sandbank y Hephher 1978; Shi et al., 2007).

Existen estudios sobre la eliminación de nutrientes de aguas residuales mediante sistemas de inmovilización pero limitados a *Chlorella* con alginato (Lau et al, 1997.); *Scenedesmus oblicuo* inmovilizado en k-carragenina (Chevalier y De la Noue, 1985) y *Scenedesmus intermedius* inmovilizada en alginato de calcio (Jimenez-Perez et al., 2004). Estos estudios han evaluado sólo la calidad del efluente final, y pocos han determinado el nitrógeno (Marin et al., 2009).

Se ha evaluado la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal, fósforo total y demanda química de oxígeno (DQO), en agua residual sintética y semi-sintética utilizando una cepa axénica de *nostoc sp.*, y un consorcio microbiano, inmovilizados en perlas de alginato de calcio y en suspensión (M. Moreno, 2010).

En Latinoamérica de igual forma existen estudios acerca de Fitoremediación a través de la evaluación de tasas de crecimiento de *Scenedesmus quadricauda* cultivada en efluentes domiciliarios como el estudio realizado en la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina.

Uno de los últimos estudios realizados proviene de la tesis doctoral realizada en el año 2012. En esta se explora una estrategia de cultivo para mejorar la decantación de los sistemas basados en algas clorofitas, concluyendo que el lodo activado se puede utilizar como inóculo bacteriano para mejorar la decantación de la biomasa para este sistema de algas-bacterias. Este estudio explora una mejor comprensión de un sistema de algas-bacterias mediante el análisis de las composiciones de la comunidad bacteriana y ofrece nuevas opciones para resolver los problemas del cultivo de algas clorofitas (Sanyan Su, 2012)

En otro estudio realizado en México que trataba acerca de la remoción de nutrientes por 3 cultivos de microalgas libres e inmovilizados en el año 2012, se estudió la capacidad de remoción de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y ortofosfato (PO<sub>4</sub>-3) con cultivos libres e inmovilizados de microalgas, utilizando para ello agua proveniente del reactor UASB de la UAM-I y dos cultivos clonales de *chlorella vulgaris* y *spirulina subsalsa*. Este estudio reportó que la máxima capacidad de remoción fue para la *Chlorella vulgaris* con un 50% de remoción para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg/l y un 74% para PO<sub>4</sub>-3 mg/l (Hernández Reyes, Rodríguez

Palacio, Lozano Ramírez, & Castilla Hernández, 2012).

**Descripción del área de estudio**

La realización de esta investigación se hizo en base a las características del efluente del agua residual de los filtros percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de San Carlos, ubicada dentro de los predios de la parte norte de los campos de la Facultad de Agronomía (figura 1). Las coordenadas de ubicación son las siguientes 14°34'43.0"N 90°33'34.1"W.

**Figura 1. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – USAC**



**Metodología**

La metodología empleada consistió en la recolección de muestras de agua en la salida del tercer filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la Universidad de San Carlos para conocer los valores máximos como mínimos de nutrientes producidos por la misma y luego realizar combinaciones entre ambos límites para cada uno de los nutrientes analizados y verificar a los 12 días los niveles de remoción de nutrientes.

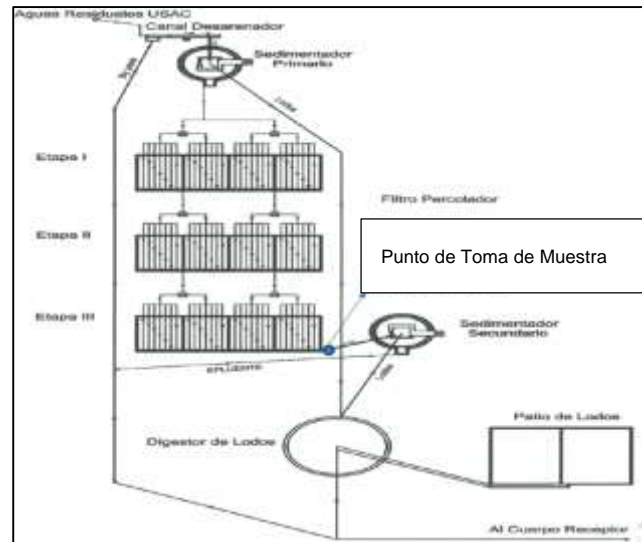
**Número de muestras a realizar**

El número de muestras fue definido considerando cuatro parámetros a evaluar (nitritos, nitratos, amonio y fosfatos) en valores máximo y mínimo, lo cual nos daría un total de 8 muestras. Con el objetivo de dar soporte estadístico, se realizó 3 repeticiones del muestreo, con lo cual el número de muestras total fue de 24.

**Recolección de las muestras.**

La recolección de las muestras para realizar tanto la identificación de algas, el conteo de las mismas y la colección de muestras para la alteración se hizo específicamente en efluente del tercer filtro percolador (figura 2), antes de la entrada al sedimentador secundario.

**Figura 2. Esquema de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas USAC y punto de toma de muestra**



Fuente. Ing. Rommel Raudales, año 2011

**Identificación de algas**

Antes de realizar la fase de conteo de algas para poder ver el crecimiento de las mismas se realizó una identificación previa de las especies de algas presentes en el agua residual proveniente del efluente de los filtros percoladores y así conocer el tipo de especies, para luego compararlas con las ya registradas y clasificadas según los textos y monitoreo previos a la planta.

**Conteo de Algas**

En el estudio se contempló el conteo de algas luego de varios días de aislada una muestra de agua en un recipiente expuesta a factores ambientales naturales. El resultado obtenido en estudios anteriores en cuanto al conteo fue que el séptimo día era el día de máximo crecimiento o "boom" y luego el cultivo de algas iniciaba la etapa de decaimiento siempre y cuando no existan factores externos que afecten la muestra, tal es el caso de variación de carga orgánica, lluvia o radiación solar entre otros. El conteo de algas se realizó con una cámara de recuento Sedgewick Rafter.

## Límites de nutrientes monitoreados

La realización del estudio requirió el conocimiento de valores mínimos y máximos de los nutrientes existentes en el agua residual de la salida de los filtros percoladores de la planta estudiada. Para definir estos límites se realizó un monitoreo de 3 repeticiones durante 3 días, iniciando desde las 8 de mañana hasta las 3 de la tarde. Los días escogidos, así como las horas fueron los días que mostraban la misma cantidad de estudiantes que hacían presencia en la universidad para así obtener el mismo caudal y el mismo comportamiento con patrones similares de los valores máximos y mínimos actualizados y reales de la planta.

## Modificación de muestras

Los valores de nutrientes máximos y mínimos identificados según el procedimiento del ítem anterior, fueron utilizados como referencia para modificar las muestras de agua residual de la salida de filtros percoladores, para que esta presentara dichos valores críticos, y de esta forma determinar el nivel de absorción de nutrientes con estas condiciones.

Para modificar las muestras, se utilizaron soluciones de la forma siguiente:

- $NH_4Cl$  en solución de 0.0381 gr diluida en 1 litro de agua destilada para poder obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 1.2200\text{ mg}/NH_3$ . Y en solución de 15.6500 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 0.7218 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 0.1000\text{ mg}/NO_3$ . Y en solución de 36.0900 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 1.2320 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 0.2500\text{ mg}/NO_2$ . Y en solución de 2.464 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 0.5000\text{ mg}/NO_3$ .
- $KH_2PO_4$  En solución de 21.9500 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 0.5000\text{ mg}/PO_4$ . Y en solución de 43.9000 gr diluida en 1 litro de agua destilada para obtener la concentración de  $1\text{ ml} = 10\text{ mg}/PO_4$ .

Teniendo ya dosificadas las soluciones se procedió a recolectar la muestra de agua a la salida del filtro percolador. Se recolectó a las 8 de la mañana, que es la hora con menor cantidad de nutrientes presentes en la muestra. Una vez teniendo la muestra con valores aún más bajos que los mínimos registrados llevados a este estado a través de dilución se procedió a modificar la muestra a los valores mínimos.

El total de muestras fue de 15 litros divididas en frascos de vidrio transparente de 250 ml., para cada muestra.

Cada uno de los envases fue etiquetado con su respectiva descripción de alteraciones en base a los mínimos y elevado a su máximo según la etiqueta.

## Resultados

Los resultados, tablas, gráficas y datos estadísticos que se obtuvieron mediante técnicas y experimentaciones en este estudio son mostrados de manera particular según sus fases de estudio y se desglosan a continuación.

### Algas presentes

Se encontró un número limitado de algas coincidentes con estudios, anteriormente realizados en la misma planta de tratamiento. Las especies encontradas fueron las siguientes:

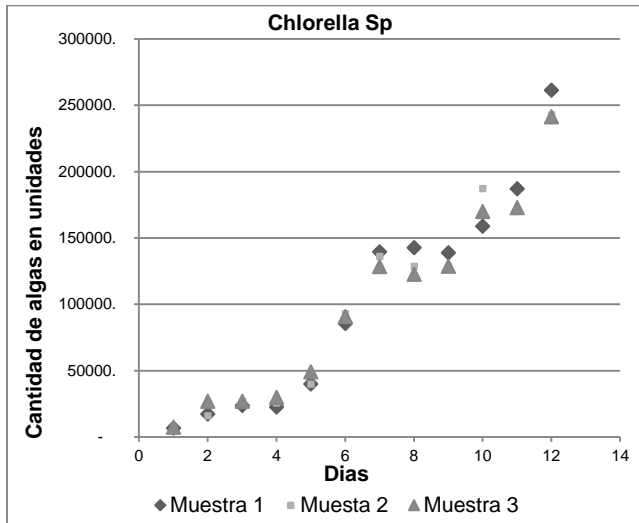
1. Microsistis Sp
2. Chlorella Sp
3. Closteriopsis.
4. Sphaerocystis.

### Cantidad de algas encontradas

El conteo de algas de esta investigación se realizó simultáneamente a 3 muestras de aguas residuales durante 12 días consecutivos, con el objetivo de observar el crecimiento de las mismas y poder obtener un promedio de crecimiento, así como el día máximo de crecimiento según el tipo de alga observada. Este conteo se realizó utilizando una cámara de recuento Sedgewick Rafter.

Se observó que el alga *Chlorella* presenta un crecimiento diferenciado del resto de especies identificadas en las muestras, ya que como se muestra en la figura 1, esta tiene un crecimiento súbito del día 1 al día 7 pero de igual forma sigue creciendo hasta el día 12 pero a un ritmo más lento.

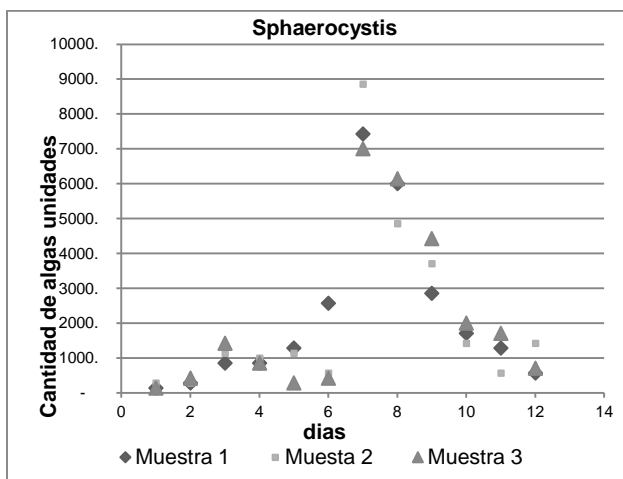
Figura 1. Crecimiento del alga *Chlorella*



Fuente. Elaboración Propia

La especie de alga *Sphaerocystis* presenta un máximo crecimiento al séptimo día declinando por completo su crecimiento cada vez más. El estudio presenta análisis de muestras hasta el día 12 y a este día presenta una reducción muy significativa con respecto a la cresta que visiblemente se percibe en la figura 2.

Figura 2. Crecimiento del alga *Sphaerocystis*

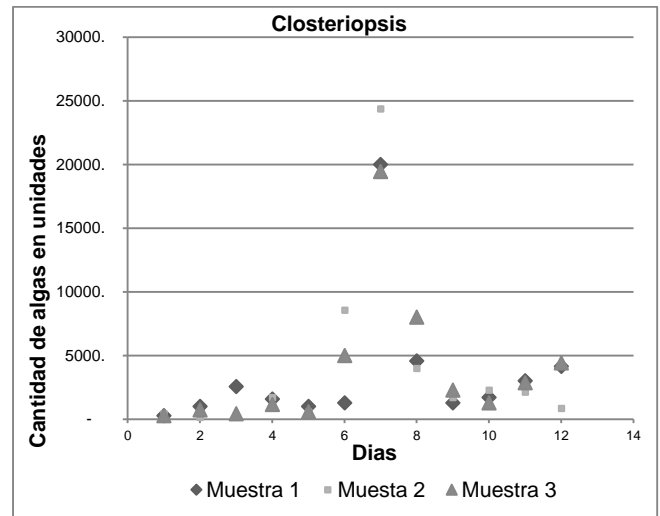


Fuente. Elaboración Propia

En el caso del alga *Closteriopsis* (Figura 3), el comportamiento es bastante similar al de la especie *Sphaerocystis* en el que el crecimiento máximo se da al séptimo día y luego de ese periodo de 7 días inicia el periodo de decaimiento de colonias, ya que el ultimo día monitoreado que fue el día 12 es donde se

presenta el día con menos cantidad de algas, luego del máximo crecimiento.

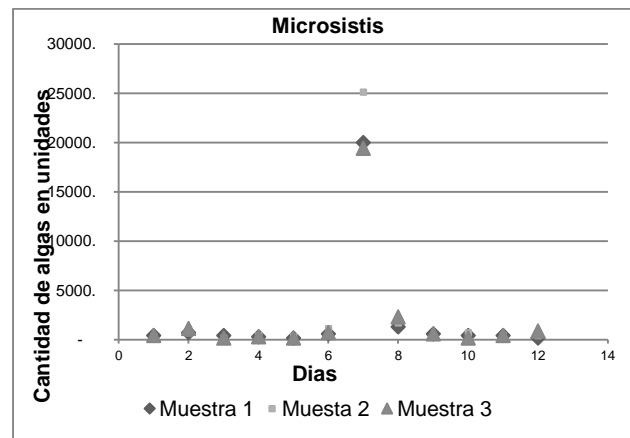
Figura 3. Crecimiento del alga *Closteriopsis*.



Fuente. Elaboración Propia

Por último se contabilizó la especie de alga *Microsistis* (Figura 4), que presenta el mismo comportamiento de las ultimas 2 especies contabilizadas con un crecimiento máximo al séptimo día y luego presenta un decaimiento hasta el último día de monitoreo, siendo ese último día, el doceavo.

Figura 4. Crecimiento del alga *Microsistis*.



Fuente. Elaboración Propia

### Valores máximos y mínimos de nutrientes en el agua residual de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Luego del muestreo realizado, se determinó que el valor promedio mínimo de nutrientes a la salida del

filtro percolador en la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala son:

- Fosfatos = 19.00 mg/l
- Amonio = 1.00 mg/l
- Nitrito = 0.10 mg/l
- Nitrato = 76.00 mg/l

Y sus valores máximos promedio son:

- Fosfatos = 204.00 mg/l
- Amonio = 17.50 mg/l
- Nitrito = 1.55 mg/l
- Nitrato = 116.00 mg/l

### Remoción de nitrógeno amoniacal en condiciones máximas y mínimas

Las combinaciones evaluadas para establecer el comportamiento del nitrógeno amoniacal en condiciones críticas fueron:

- 1) Nitrógeno amoniacal en valor máximo (17.50 mg/l) y nitritos, nitratos y fosfatos en valores mínimos (0.10 mg/l, 76.00 mg/l y 1.00mg/l respectivamente)
- 2) Nitrógeno amoniacal en valor mínimo (1.00 mg/l) y nitritos, nitratos y fosfatos en valores máximos (1.55 mg/l, 116 mg/l y 204 mg/l respectivamente)

En los resultados de remoción de nutrientes estudiados se obtuvieron valores bastante interesantes, por ejemplo en el caso del amonio, este nutriente se elevó al valor máximo de 17.50 mg/l y el mínimo era de 1.00 mg/l (Tabla 1). Pasado los 12 días de exposición al ambiente en los frascos se notó cierto comportamiento de los valores que en el caso de las muestras que presentaban valores máximos del nutriente estas tenían remociones promedio de 25.55% en base a la medición inicial, caso contrario se muestra para las muestras que contenían el mínimo de nutrientes, estas muestras no reflejan una reducción del nutriente, es más, tienen un valor más alto de lo monitoreado al inicio.

Tabla 1.Promedio de Remoción de amonio

| Condición de amonio NH <sub>4</sub> | Concentración Inicial (mg/l) | Concentración Final (mg/l) | Porcentaje Removido (%) |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Límite máximo                       | 17.50                        | 13.30                      | 25.55                   |
| Límite mínimo                       | 1.00                         | 1.25                       | -25                     |

Fuente. Elaboración Propia.

### Remoción de fosfatos en condiciones máximas y mínimas

Para evaluar el comportamiento de fosfatos se analizó la combinación siguiente:

- 1) Fosfato en valor máximo (204.00 mg/l) y nitritos, nitratos y amonio en valores mínimos (0.10 mg/l, 76.00 mg/l y 1.00 mg/l respectivamente)
- 2) Fosfato en valor mínimo (19.00 mg/l) y nitritos, nitratos y amonio en valores máximos (0.10 mg/l, 76.00 mg/l, 1.00 mg/l respectivamente)

El comportamiento de las muestras que contenían diferentes límites de fosfatos se mostró diferente, ya que en ambos límites de concentraciones de este nutriente se registraron remociones(Tabla 2). Las muestras que tenían el mínimo de fosfatos presentan remociones promedios 55.1% y las muestras con el máximo registrado mostraban reducciones promedios de 23.58%.

Tabla 2.Promedio de Remoción de fosfatos

| Condición de fosfato PO <sub>4</sub> | Concentración Inicial (mg/l) | Concentración Final (mg/l) | Porcentaje Removido (%) |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Límite máximo                        | 204.00                       | 154.89                     | 23.58                   |
| Límite mínimo                        | 19.00                        | 8.53                       | 55.11                   |

Fuente. Elaboración Propia.

### Remoción de nitratos en condiciones máximas y mínimas

En el caso de la remoción de Nitratos en las 3 muestras de agua los resultados fueron positivos para ambas concentraciones de mínimos y máximos establecidos por muestras. En el caso de las que presentaban el mínimo de concentraciones de nitritos, el porcentaje de remoción promedio es de 44.78% y para las muestras que contenían el máximo de contenido el promedio de remoción es del 53.78% (Tabla 3). Ambos resultados muy satisfactorios especialmente las muestras con el máximo de contenido.

Las combinaciones evaluadas fueron:

- 1) Nitratos en valor máximo (116.00 mg/l) y nitritos, fosfato y amonio en valores mínimos (0.10 mg/l, 76.00 mg/l y 1.00 mg/l respectivamente)
- 2) Nitritos en valor mínimo (76.00 mg/l) y nitritos, fosfato y amonio en valores máximos (1.55 mg/l, 116.00 mg/l y 17.50 mg/l respectivamente)

Tabla 3.Promedio de Remoción de nitratos

| Condición de nitratos NO <sub>3</sub> | Concentración Inicial (mg/l) | Concentración Final (mg/l) | Porcentaje Removido (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Límite máximo                         | 116.00                       | 53.64                      | 53.76                   |
| Límite mínimo                         | 76.00                        | 41.97                      | 44.78                   |

Fuente. Elaboración Propia.

### Remoción de nitrito en condiciones máximas y mínimas

De forma similar al comportamiento de la remoción de Nitrógeno Amoniacal es la de la remoción de Nitritos, En estas muestras el comportamiento de remoción fue negativa en el caso de las que contenían el mínimo de este nutriente, es más, la tendencia fue a aumentar, lo curioso de este caso es que parecía tener una tendencia a estabilizar los valores de nitritos. En el caso de las muestras con las cantidades máximas si existió una remoción promedio de nitritos de 56.78% (Tabla 4)

Las combinaciones evaluadas fueron:

- 1) Nitrito en valor máximo (1.55 mg/l) y nitratos, fosfato y amonio en valores mínimos (76 mg/l, 19 mg/l y 1.00mg/l respectivamente)

- 2) Nitrito en valor mínimo (0.10 mg/l) y nitratos, fosfato y amonio en valores máximos.

Tabla 4.Promedio de Remoción de nitrito

| Condición de nitritos NO <sub>2</sub> | Concentración Inicial (mg/l) | Concentración Final (mg/l) | Porcentaje Removido (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Límite máximo                         | 1.55                         | 0.67                       | 56.78                   |
| Límite mínimo                         | 0.10                         | 1.21                       | -1110                   |

Fuente. Elaboración Propia.

### Conclusiones

Se logró verificar el crecimiento natural de 4 especies de algas las cuales fueron *Microsistis Sp*, *Chlorella Sp*, *Closteriopsis*, *Sphaerocystis* con un crecimiento máximo a los 7 días, excepto por la especie *Chorella Sp* cuyo ciclo máximo de crecimiento se produjo a los 12 días para luego entrar a la fase de decaimiento o muerte de las mismas.

Para lograr remociones significativas de amonio se requiere que este nutriente se encuentre en su máximo nivel, ya que bajo esta situación los niveles se reducen de 17.50 mg/l a 13.03 mg/l es decir un 25.55%, caso contrario cuando presenta el nivel mínimo este más bien aumenta de 1.00 mg/l a 1.25 mg/l, es decir aumenta un 25%, por lo tanto cuando el nutriente se encuentra al mínimo no presenta reducción alguna.

En el caso del fosfato para lograr remociones significativas de fosfatos se logran con los niveles mínimos, ya que disminuyeron de 19.00 mg/l a 8.53mg/l o sea un 55.10% mientras que las muestras con niveles máximos de fosfato presentaron una reducción de 204 mg/l a 155.89 mg/l, es decir una reducción del 23.58%

De igual forma se logra una reducción en ambos límites para el caso del Nitrato pero es significativamente mayor la reducción cuando este nutriente presenta una mayor concentración, ya que los valores se reducen de 116 mg/l a 53.64 mg/l equivalente a un 53.76% de remoción mientras que cuando presenta el límite inferior de concentración solo remueve el 44.78% por disminuir de 76.00% a 41.97%.

La remoción de nitritos presenta un comportamiento similar al del amonio ya que la reducción se tiene cuando los niveles de nitritos con máximos, en esta condición se logran remociones de 1.55 mg/l a 0.67

mg/l es decir un 56.78% contario al caso de presentarse niveles mínimos de nitritos, en este caso lo niveles aumentan de 0.1 mg/l 1.21 mg/l es decir no existe remoción alguna y se incrementa en un 1110%.

## Referencias

- ABALDE J., CID A., FIDALGO J.P., TORRES E., HERRERO C. (1995). *Microalgas Cultivo y Aplicaciones* Servicio de publicaciones, Universidad de la Coruña. Departamento de Biología Celular y Molecular, Facultad de Ciencias. La Coruña España. 210 pp.
- BECKER, E. W. (1994). *Microalgae Biotechnology and microbiology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 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
- 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*.
- GÓMEZ-LUNA, L.M. (1997). *Cultivo y aplicación de las microalgas Dunaliella salina y Chlorella vulgaris en Cuba*. Tesis de Doctorado. Universidade da Coruña.
- 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.
- HERNÁNDEZ REYES, B., RODRÍGUEZ PALACIO, M., LOZANO RAMÍREZ, C., & CASTILLA HERNÁNDEZ, P. (2012). *Remoción de nutrientes por tres cultivos de microalgas libres e inmovilizados*. *Revista Latinoamericana Biotecnología Ambiental Algal*.
- LARSDOTTER, K., (2006). *Wastewater treatment with microalgae*.
- MORENO MARIN, A, (2008). *Fotobiorreactor cerrada como método de depuración de aguas residuales urbanas*. Sevilla: Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de la Universidad de Sevilla.
- MENDEZ-SUAZA, L., ALBARRACIN, I., CRAVERO, M., SALOMÓN, R. (2011). *Crecimiento de Scenedesmus quadricauda en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina*.
- OSWALD, W. (1966). *Eutrophication trends in the United States - a problem? Journal Water pollution control federation Washington*, 964-975.
- OSWALD, W., & GOTAAS, H. (1955). *Photosynthesis in sewage treatment*. *American Society of civil engineers*, 73-105.
- OLGUÍN EJ. (2003). *Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes*. *Biotechnology Advances*.
- 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.

## Información del autor:

Ingeniero civil, Rafael Arturo Blandón Blandón, graduado en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Maestro en ciencias en ingeniería sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulico 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.