



## UTILIZACIÓN DEL FITOERREACTOR AIR-LIFT, A PARTIR DE MICROALGAS CHLORELLA VULGARIS, PARA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUOS URBANAS

### USE OF THE AIR-LIFT PHYTOREACTOR, FROM CHLORELLA VULGARIS MICROALGAE, FOR REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN URBAN WASTE WATERS

**\*Patiño Condia Angie Leonela<sup>1</sup>, Ramón Valencia Jacipt Alexander<sup>2</sup>, Ramón Jarol Derley<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química, \*Correo electrónico: [leonelapc22@outlook.com](mailto:leonelapc22@outlook.com), Pamplona-Norte de Santander Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Ambiental, Grupo de investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS, Orcid <https://orcid.org/0000-0002-2695-5513>, Correo electrónico: [jacipt@unipamplona.edu.co](mailto:jacipt@unipamplona.edu.co), Pamplona-Norte de Santander Colombia.

<sup>3</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Ambiental, Grupo de investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS, Orcid <https://orcid.org/0000-0002-4929-8544>, Correo electrónico: [jarol.ramon@unipamplona.edu.co](mailto:jarol.ramon@unipamplona.edu.co), Pamplona-Norte de Santander Colombia.

**Recibido: 13 de agosto de 2023; Aceptado: 15 diciembre de 2023**

#### RESUMEN

El impacto ambiental generado en los ecosistemas de agua naturales por el vertimiento de aguas residuales produce la eutrofización; que es el crecimiento desmedido de algas, debido a la presencia de altas concentraciones de sales. Por lo anterior, en esta investigación se propuso evaluar dos cepas de la microalga *Chlorella vulgaris* (nativa y UTEX1803) y dos concentraciones de cada una (20 y 30%), para la remoción de nutrientes utilizando aguas residuales urbanas del municipio de Pamplona, Norte de Santander. Inicialmente, se realizó la evaluación fisicoquímica del agua residual urbana. Se diseñó un fotobiorreactor air-lift de tubos concéntricos, utilizando el flujo de aire de operación con un coeficiente volumétrico de transferencia de masa de O<sub>2</sub> kLa de 67,68h<sup>-1</sup>, tiempo de mezcla de 5,303 ± 0,0153 s y una retención de gas en el reactor de 0,0219. En la puesta en marcha del biorreactor para la

**\*Patiño Condia Angie Leonela<sup>1</sup>, Ramón Valencia Jacipt Alexander<sup>2</sup>, Ramón Jarol Derley<sup>3</sup>**

remoción de nutrientes se determinó los inóculos de las cepas con el fin de adaptarlas al nuevo sustrato, mediante el incremento del crecimiento celular. La remoción con inóculos del 30% fue del 95% de  $\text{NO}_3$  y 83,3% de  $\text{PO}_4$  para la cepa nativa y para la cepa UTEX 1803 del 92,5 y 91,2% para  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$  respectivamente.

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia Jacipt Ramón Valencia  
E-mail:  
[jacipt@unipamplona.edu.co](mailto:jacipt@unipamplona.edu.co)

**Palabras clave:** Aguas residuales, microalga, *Chlorella vulgaris*, fotobiorreactor air-lift.

### ABSTRACT

The environmental impact generated in natural water ecosystems by the discharge of wastewater produces eutrophication; which is the excessive growth of algae, due to the presence of high concentrations of salts. Therefore, in this investigation it was proposed to evaluate two strains of the *Chlorella vulgaris* microalgae (native and UTEX1803) and two concentrations of each (20 and 30%), for the removal of nutrients using urban wastewater from the municipality of Pamplona, North Santander. Initially, the physicochemical evaluation of urban wastewater was carried out. A concentric tube air-lift photobioreactor was designed, using the operating air flow a volumetric  $\text{O}_2$  kLa mass transfer coefficient of  $67.68\text{h}^{-1}$ , mixing time of  $5.303 \pm 0.0153$  s and retention of gas in the reactor of 0.0219. In the start-up of the bioreactor for the removal of nutrients, the inoculums of the strains were determined in order to adapt them to the new substrate, by increasing cell growth. The 30% inoculum removal was 95%  $\text{NO}_3$  and 83.3%  $\text{PO}_4$  for the native strain and for the UTEX 1803 strain 92.5 and 91.2% for  $\text{NO}_3$  and  $\text{PO}_4$  respectively.

**Key words:** Wastewater, microalgae, *Chlorella vulgaris*, air-lift photobioreactor

## INTRODUCCIÓN

Los fotobiorreactores air-lift se han venido empleado en diversas aplicaciones, industrialmente se ha utilizado en procesos que requieren alta transferencia de masa y buen mezclado, como, por ejemplo, para la producción aeróbica de proteínas microbianas, asimismo, se han utilizado en procesos fermentativos, cultivos de células y como sistema de tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales urbanas con microalgas se ha estudiado desde hace varios años, en 1989 Pouliot et al realizaron experimentos a escala laboratorio para determinar lo factores que influyen en la eficacia en el tratamiento de aguas residuales con cianobacterias, obtuvieron remoción de amoniaco y fosfato de 95 y 62% respectivamente.

En 1995 Craggs et al., evaluaron la remoción de nutrientes de dos cepas de microalga marina denominada *Phaeodactylum tricorutum* en un efluente primario de aguas residuales las cuales diluyeron en relación 1:1 con agua de mar estéril, obtuvieron resultados de remoción para la cepa B2 del 70% para amonio y ortofosfato.

Martínez et al., en el 2000 estudiaron la eliminación de nitrógeno y fosforo con la microalga *Scenedesmus obliquus* cultivada en aguas residuales urbanas las cuales fueron previamente sometidas a tratamiento secundario, asimismo, estudiaron la productividad de la biomasa y su composición bioquímica, las variables que manipularon en los cultivos fue agitación y temperatura. Encontraron un 100% de reducción de amonio, con un tiempo de cultivo de 188,33h, agitado y a 25°C.

En el mismo año Wong et al., estudiaron la bioabsorción de níquel por dos especies de *Chlorella*, *C. vulgaris* (comercial) y *C. maniata* (aislamiento local) fueron cultivadas en soluciones de níquel con concentraciones similares a los efluentes de electrodeposición.

Reyes et al., en el 2012, evaluaron la capacidad de remoción de amonio y ortofosfato mediante cultivos de microalgas libres e inmovilizadas, utilizaron un cultivo mixto conseguido del agua residual proveniente del reactor UASB de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa; y dos cultivos de *Chlorella vulgaris* y *Spirulina subsalsa* remoción 50 y

74% para amonio y ortofosfato respectivamente.

El proyecto de investigación de Cartagena y Malo, en el 2017 consistió en evaluar la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Salitre” ubicada en Bogotá – Colombia. Realizaron la adaptación de la microalga a dicho sustrato utilizando volúmenes de cultivo del 33 y 50%, posteriormente, evaluaron el crecimiento de la microalga ya adaptada utilizando para cada cultivo 10 y 30% de microalga adaptada.

Para los cultivos en suspensión se utilizan biorreactores de tanque agitado y columna de aire. Asimismo, los biorreactores de agitación neumática tienen dos tipos principales: biorreactores de elevación por aire (air-lift) y columna de burbujas. Los biorreactores air-lift tienen una serie de ventajas: evita la coalescencia de burbujas, distribuye las tensiones cortantes en todo el reactor y aumenta la tasa de transferencia de masa (Wang y Zhong, 2001).

En 1998 Contreras et al., cultivaron la microalga *Phaeodactylum triconutum* en un reactor air-lift de tubos concéntricos, el

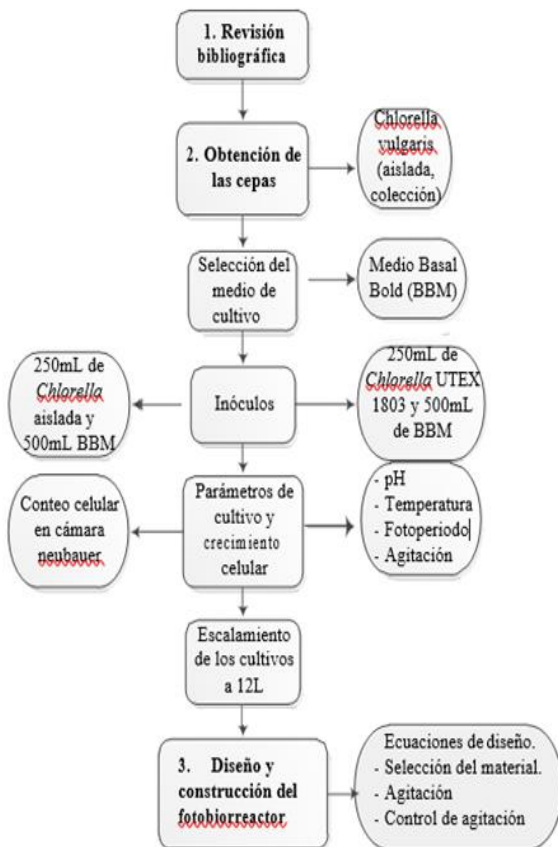
objetivo de este estudio era determinar la interacción

El estudio realizado por Sánchez et al., en el 2016, caracterizaron un reactor air-lift de circulación interna y posteriormente, llevaron a cabo el tratamiento de agua residual municipal donde disminuyeron la carga orgánica mediante pellets obtenidos por hongos nativos presentes en el grano verde del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La finalidad del trabajo de la investigación es la remoción de nitratos y fosfatos en aguas residuales urbanas del municipio de Pamplona-Norte de Santander, a través del sistema de cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris* utilizando un fotobiorreactor air-lift a escala laboratorio. El proyecto se desarrolló de este proyecto a partir de las siguientes etapas como se muestra en la figura 1:

Inicialmente, se realizó una revisión bibliográfica del estado del arte de los fotobiorreactores recomendables para el cultivo de microalgas. Seguidamente, determinó la caracterización fisicoquímica del agua residual urbana. La siguiente etapa consistió en la obtención de las dos cepas de la microalga *Chlorella vulgaris*, las cuales se cultivaron en el medio Basal Bold (BBM) y finalmente se diseñó el fotobiorreactor air-lift de tubos concéntricos a partir de ecuaciones establecidos.



**Figura 1.** Diagrama de proceso del proyecto.  
 Fuente: Autor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

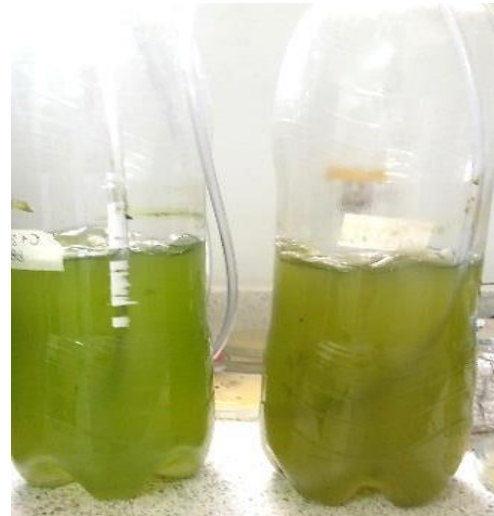
### 1. Obtención de las cepas y variables de cultivo

En esta investigación se trabajó con dos cepas de *Chlorella vulgaris*, la primera fue una cepa nativa; obtenida en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Pamplona en la Laguna Comagüeta ubicada en el municipio de Chitagá-Norte de Santander y la segunda cepa, UTEX 1803, es de colección y fue adquirida por el laboratorio GAIA de la Universidad de Santander.

Como medio de cultivo para ambas cepas, se utilizó medio Basal Bold (BBM). Los cultivos se escalaron desde un volumen de 500mL hasta obtener 12 L de cada uno y para esto se utilizó una relación inóculo y medio (BBM) de 1:2. Las condiciones de cultivo como temperatura y fotoperiodos fueron ambiente; la temperatura promedio del municipio de Pamplona es de 16°C y la intensidad lumínica se monitoreó con un luxómetro durante los 13 días de cultivo y esta estuvo en un promedio de  $657,6153 \pm 511,0391$  lux. (ver figuras 2 y 3).



**Figura 2.** Cepas UTEX 1803 y nativa, respectivamente, cultivadas en BBM. Fuente: Autor.



**Figura 3.** Cepas nativa y UTEX 1803, respectivamente, 13 días después del inóculo 17. Fuente: Autor.

Por otra parte, la agitación se realizó mediante compresores de pecera con un



flujo de aire de 2,5 L/min para los cultivos hasta de 2L, posteriormente, cuando se obtuvieron 12L de cada cepa (dos galones de 6L cada uno) se trabajó con compresores de 5,5 L/min (Ver figuras 4).



**Figura 4.** Escalado final de la cepa nativa, 12L.  
 Fuente: Autor.

## 2. Caracterización del agua residual urbana del municipio de Pamplona y adaptación de las cepas al nuevo sustrato

Para la caracterización del afluente se tomaron muestras de agua residual urbana del municipio de Pamplona-Norte de Santander, la ubicación del punto vertimiento y colección del afluente fue en el terminal de transportes del municipio. Ver tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos del agua residual del municipio de Pamplona-Norte de Santander

Parámetro	Número de muestras						Re 631 2015.
	1	2	3	4	5	6	
pH	7,31	7	8,03	7,52	7,91	7,75	6,29
Turbidez (NTU)	317	267	278	267	196	229	164
Color (PtCo)	1069	903	1231	1386	842	1123	434
OD(mg/L)	1,15	0,38	0,52	0,97	1,02	0,99	0,33
DQO(mg/L)	833	857	1436	902	1103	894	433
DBO5 (mg/L)	524,7	539,9	904,6	568,2	694,89	563,2	272,7
Dureza (mg CaCO3/L)	40	130	300	150	250	260	40
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	210	125	265	245	255	235	75
Acidez (mg CaCO3/L)	90	180	65	75	70	80	60
Sulfatos (mg/L)	73	52	25	48	44	78	117,92
Fosfatos (mg/L)	20	23	15,7	15,4	17,7	16,4	25
Nitratos (mg/L)	5,5	17,3	7,3	6,3	5,6	5,2	7,3

Fuente: Autor

Al comparar los resultados obtenidos con la reglamentación de parámetros fisicoquímicos y los valores máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales domésticas a cuerpos de agua superficiales (Resolución 0631 de 2015, el pH se encuentra en el rango establecido, la demanda química de oxígeno DQO el valor máximo y mínimo están por encima del valor máximo permitido, en los sólidos suspendidos totales SST, el valor mínimo se encuentra en el rango, sin embargo el valor

máximo y el valor promedio se exceden, asimismo pasó con los sólidos sedimentables. Por otra parte, los demás parámetros no se pudo establecer una comparación ya que no se presenta un límite en la reglamentación.

### 3. Diseño y construcción del fotobiorreactor air-lift

Para la selección del tipo de biorreactor que se iba a diseñar y construir se realizó una extensa revisión bibliográfica, donde se encontró que los biorreactores air-lift tienen diversas ventajas frente a otros biorreactores, ventajas tales como (Cortés *et al.*, 2013):

- Mayor capacidad de transferencia de masa debido a su sistema de agitación
- Fluidización de los sólidos altamente efectiva.
- Patrones de flujo bien definidos.
- Esfuerzos cortantes bajos lo que lleva al crecimiento celular ya que no hay estrés ni daño celular.
- Fácil construcción y bajos costos.

Los biorreactores como columnas de burbujeo y air-lift son ampliamente utilizados

para el cultivo de microorganismos debido a su agitación neumática, sin embargo, las principales ventajas de un biorreactor air-lift sobre las columnas de burbujeo son la mezcla mejorada, en muchos de los casos los coeficientes de transferencia de masa son más altos, debido a que en los biorreactores air-lift se pueden dar velocidades del gas mucho más altas. Por ejemplo, en columnas de burbujeo utilizadas en la industria la velocidad superficial es del orden de 0,06 m/s y en los biorreactores air-lift está por los 0,22 m/s resultando un coeficiente de transferencia de oxígeno de 0,143 s<sup>-1</sup> (Chisti, 1989). Además, el tipo de biorreactor es ampliamente utilizado como sistema de cultivo para el tratamiento de aguas residuales (Velasco, 2009; Arias, 2015; Sánchez *et al.*, 2016).

### 4. Especificaciones del reactor construido del fotobiorreactor air-lift

En la Tabla 2 se muestran las dimensiones, relaciones y volumen total del fotobiorreactor construido y en la figura 5 se muestra un esquema del biorreactor.

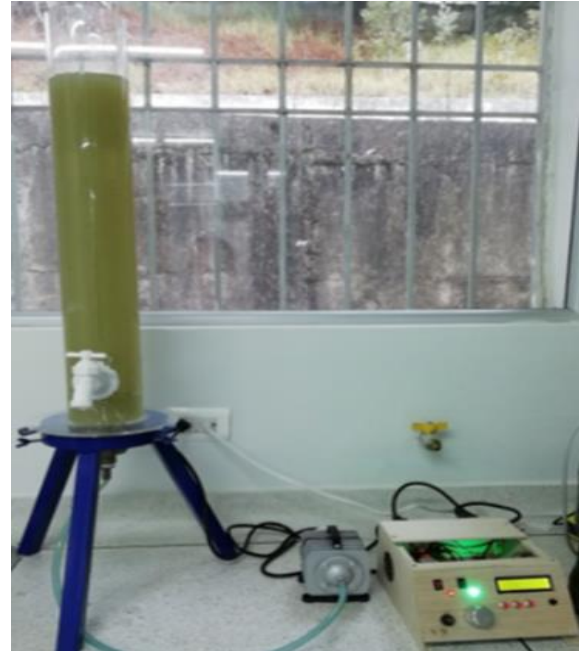


**Tabla 2.** Dimensiones del biorreactor

Dimensiones del biorreactor air-lift construido (m)	
Altura del downcomer (hD)	0,66
Altura del riser (hR)	0,4
Altura de operación (Lo)	0,54
Distancia entre el difusor y riser (L1)	0,05
Diámetro downcomer (DD)	0,09
Diámetro riser (DR)	0,058
Áreas de la sección transversal riser y downcomer	
AR (m <sup>2</sup> )	0,0026
AD (m <sup>2</sup> )	0,0064
Relaciones del bioreactor	
hR/Lo	0,74
DR/DD	0,64
AD/AR	2,46
Volumen total del reactor (m <sup>3</sup> )	0,0042
Volumen de operación (m <sup>3</sup> )	0,0034

Fuente: Autor

En la figura 5, se puede observar el fotobiorreactor air-lift de tubos concéntricos está totalmente construido en acrílico de 5mm de espesor, la entrada de gas es en la parte inferior, por lo tanto, el biorreactor cuenta con un plato difusor que tiene 90 agujeros de 0,002m de diámetro, para la toma de muestra o salida del efluente con biomasa, se instaló una llave de 1" en la parte inferior.



**Figura 5.** Fotobiorreactor air-lift de tubos concéntricos. Fuente: Autor

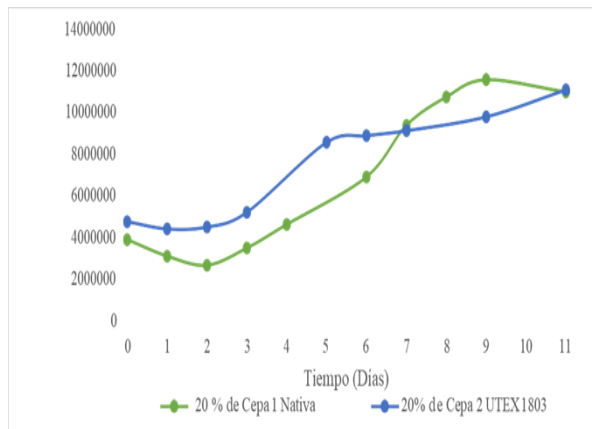
Para determinar todos los parámetros hidrodinámicos como medio se utilizó agua y el caudal de aire fue 6,41 L/min.

## 5. Puesta en marcha del fotobiorreactor construido

En el reactor se evaluaron las mismas concentraciones de inóculo de cada microalga, los parámetros de cultivo medidos durante los tratamientos se muestran a continuación.

### 5.1 Inóculos de las cepas 1 y 2 al 20% en el fotobiorreactor construido

En la figura 6, se muestra el crecimiento celular y los parámetros medidos en los cultivos en el fotobiorreactor. Se puede apreciar las cinéticas de crecimiento para los inóculos del 20% de cada cepa en el reactor, en el crecimiento de la cepa nativa, se puede notar un decrecimiento celular entre los días 0 y 2, posiblemente el decrecimiento se dio mientras las células se adaptaban a las condiciones del cultivo ya que se encontraba en un nuevo sistema; en el día 2 se dio lugar a el crecimiento en fase exponencial el cual duró hasta el día 9 del tratamiento y, finalmente, la microalga empezó su fase estacionaria, decreciente al día 11.



**Figura 6.** Cinéticas de crecimiento en los inóculos de las cepas 1 y 2 en el fotobiorreactor. Fuente: Autor

En la cinética de crecimiento de la cepa UTEX 1803, se puede notar que en la fase de adaptación entre los días 0 y 2, la densidad celular disminuyó, pero no de la

misma manera que la cepa nativa, la cual, en el día 2 inició su fase de crecimiento exponencial hasta el día 11, al parecer esta cepa no llegó a su fase estacionaria al finalizar el de tratamiento.

## 6. Evaluación de remoción de nitratos y fosfatos en fase preliminar

Para determinar la disminución de la concentración de nutrientes se tomaron muestras inicial y final de cada medio de cultivo. Los resultados de remoción de nutrientes de los cultivos de 20% se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Disminución de concentraciones de nitratos y fosfatos con inóculos de 20% de *C. vulgaris*.

CEPA	[ ] de NO <sub>3</sub> (mg/L)		[ ] de PO <sub>4</sub> (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>1</b>	525,3	174,7	615,2	259,1
<b>2</b>	528,9	220,4	613,4	291,2

Fuente: Autor

Se puede apreciar que la microalga *Chlorella v.* removió nitratos en mayor proporción con un porcentaje de 66,74 y 58,32% para la cepa 1 y cepa 2 respectivamente, resultados similares fueron reportado en investigaciones realizadas con el género *Chlorella* (Valderrama *et al.*, 2002; Andrade *et al.*, 2006; Díaz y Ordoñez, 2006; Arias, 2015; Hernández y Labbé, 2014; Olarte y

Valencia, 2016). Por otra parte, el porcentaje de disminución de fosfatos para la cepa 1 y 2 fue de 57,88 y 52,52% respectivamente. Los resultados preliminares de remoción son satisfactorios, la microalga nativa tiene mayores porcentajes de remoción y esto tiene una gran ventaja, ya que se impulsa a el aislamiento de estas microalgas nativas y profundizar en investigaciones de dichos microorganismos; además de uso de recurso biológico propio del ambiente.

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones iniciales y finales para los cultivos de 30% de la microalga.

**Tabla 4.** Disminución de concentraciones de nitratos y fosfatos con inóculos de 30% de *C. vulgaris*.

CEPA	[ ] de NO <sub>3</sub> (mg/L)		[ ] de PO <sub>4</sub> (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
1	378,4	98,2	337,7	127,1
2	338,6	45,5	292	87,6

Fuente: Autor

Los porcentajes de remoción correspondientes a nitratos para la cepa 1 y cepa 2 fue de 74,04 y 86,56% y los porcentajes correspondientes a remoción de fosfatos fue de 62,36 y 70% para la cepa 1 y cepa 2 respectivamente.

Comparando los resultados con los inóculos del 20%, la cepa 1 aumentó la remoción en 9,3 y 4,48% de nitratos y fosfatos respectivamente; por otra parte, la cepa 2 aumentó la eliminación de nitratos y fosfatos con un 28,24 y 17,48%. Una posible causa de los resultados de remoción de la cepa 1, puede ser la masiva contaminación que tuvo este cultivo, ya que hubo decrecimiento celular en muy poco tiempo. Además de esto, otra probable causa fue, que al tomar el volumen correspondiente al 30% la cepa 1 después de homogenizar el cultivo, se centrifugó, se lavó el cultivo y con agua destilada se llevó al volumen de inóculo correspondiente, asimismo se hizo con el inóculo de la cepa 2, sin embargo las concentraciones celulares en los inóculos del 20 y 30% para la cepa 1 tenían la misma densidad celular, esto se puede apreciar en las figuras 16 y 18; contrariamente a lo que pasó con los cultivo del 20 y 30 % de la cepa 2 ya que la concentración celular del inóculo del 30% cultivo de la cepa 2 tuvo 602500 células más que el inóculo del 20%. Por lo anterior, se puede explicar el aceptable tratamiento de la cepa nativa.

## 7. Evaluación de comportamiento del agua residual urbana antes y después del tratamiento

En la tabla 5 se muestra la estimación de parámetros fisicoquímicos después del tratamiento del cultivo. Por cuestiones económicas, sólo se realizó caracterización del efluente a un cultivo, por lo que se seleccionó el tratamiento de la microalga nativa con inóculo del 30%, ya esta cepa fue la que tuvo mejor desempeño en los tratamientos.

**Tabla 5.** Parámetros fisicoquímicos del agua residual, antes y después de tratamiento

Parámetro	Inicial	Final	% Disminución
pH	7,41	8,02	-
Turbidez (NTU)	251,42	3,74	98,51
Color (PtCo)	1031,25	168	83,71
OD (mg/L)	1,01	6,13	No aplica
DQO (mg/L)	947,75	445	53,05
DBO5 (mg/L)	597,08	369,35	38,14
Dureza (mg CaCO3/L)	202,92	80	60,57
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	203,33	30	85,25
Cloruros (mg Cl/L)	117,92	75	36,40
Acidez (mg CaCO3/L)	119,17	40	66,43

Fuente: Autor

El aumento de pH a un valor alcalino, es consecuencia, de la actividad fotosintética en la cual los iones carbonato del agua suministran a los microorganismos carbono en forma de CO<sub>2</sub>, esto favorece la

precipitación de ortofosfatos y la eliminación de nitrógeno amoniacal (Andrade *et al.*, 2006; Salazar, 2005).

Por otra parte, la disminución de los demás parámetros fisicoquímicos es evidente, la DQO disminuyó con un porcentaje de 53,05%, se observó una gran disminución en parámetros físicos como turbidez y color con porcentajes de 98,51 y 83,71% respectivamente. Lazcano Carreño, 2016 en su investigación reportaron disminución de DQO y DBO5 con un 94,6% y 95,4% respectivamente. Por otra parte, Cartagena y Malo, 2017, reportan una disminución de DQO de 81,8%,

Finalmente, se pudo observar una excelente adaptación de las cepas de *Chlorella vulgaris* al agua residual urbana, lo cual indica que el tratamiento fue satisfactorio confirmando las grandes ventajas de la microalga de adaptarse fácilmente a medios contaminados (Kumar, 2010; Luo *et al.*, 2011; Velasco *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014; Arias, 2015; Cartagena y Malo, 2017).

## CONCLUSIONES

El fotobiorreactor air-lift diseñado funcionó, optimizando las variables del sistema, en este sentido se mejoró: la homogenización del cultivo, el crecimiento celular, el comportamiento del pH, y oxígeno disuelto; por otra parte, la geometría del reactor permitió una buena actividad fotosintética mediante el traspaso de luz solar y no se dio sedimentación y aglomeración de la microalga en ninguno de los tratamientos comparando con los sistemas preliminares.

Según la Resolución 0631 de 2015 (vertimiento de efluentes), el afluente a tratar se caracterizó por tener alta concentración

de la DQO, asimismo, los valores de sólidos suspendidos volátiles y sólidos sedimentables excedieron el rango de la norma. El tratamiento con la cepa nativa obtuvo una disminución de la DQO, alcalinidad y acidez de 53,05, 85,25 y 66,43% respectivamente.

La remoción más alta de nitratos y ortofosfatos se logró en los cultivos con inóculos del 30% de cada una de las cepas. La cepa nativa removió nitratos en un 95% y fosfatos en un 83,8%, por otra parte, la cepa UTEX 1803 removió nitratos y fosfatos en un 92,5% y 91,2% respectivamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, C; Chacón, C; Cárdenas, C y Morales, E. (2006). Remoción de nitrógeno y fósforo de aguas residuales urbanas por la microalga *Chlorella* sp. en condiciones de laboratorio. *CIENCIA*, 14, 58 – 63.

Arias, C. (2015). Evaluación preliminar de la remoción de nitrógeno total u ortofosfato de aguas residuales por *Chlorella* sp., en un fotobiorreactor air-lift (Tesis de pregrado). Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

Cartagena, C; Malo, O. (2017). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la PTAR EL SALITRE a nivel laboratorio. Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C, Colombia.

Chisti, M. (1989). *Airlift Biorreactors*. Elsevier, London.

Contreras, A; García, F; Molina, E; Merchuk, J. (1998). Interaction between CO<sub>2</sub>-mass

transfer, light availability, and hydrodynamic stress in the growth of *Phaeodactylum tricornutum* in a concentric tube photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 60, 317-325.

Cortés, F; Rubio, D; Gómez, E. (2013). Análisis comparativo de modelos hidrodinámicos y cinéticos para fotobiorreactores airlift. *ITECKNE*, 10, 57-66.

Craggs, R; Smith, V; McAuley, P. (1995). Wastewater nutrient removal by marine microalgae cultured under ambient conditions in mini-ponds. *Water science and technology*, 31, 151-160.

Díaz, Vanessa y Ordoñez, Camilo. (2006). evaluación del pH y la agitación del medio más adecuada para el crecimiento de *dunaliella salina* en condiciones de laboratorio. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Kumar, Martin; Miao, Zhihong; Wyatt, Sandy. (2010). Influence of nutrient loads, feeding frequency and inoculum source on growth of *Chlorella vulgaris* in digested piggery

effluent culture medium. *Bioresource Technology*, 101, 6012-6018.

Lazcano Carreño, C. (2016). *Biología ambiental de aguas y aguas residuales*, Bogotá Colombia, Ecoe Ediciones.

Luo, L; Liu, F; Xu, Y; Yuan, J. (2011). Hydrodynamics and mass transfer characteristics in an internal loop airlift reactor with different spargers. *Chemical Engineering Journal*, 175, 494- 504

Martínez, E; Sánchez, S; Jimenez, J; Yousfi, F; Muñoz, L. (2000). Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource technology*, 73, 263-272.

Olarte, E y Valencia, M. (2016). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (VINAZAS). Tesis de pregrado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.

Pouliot, Y; Buelna, G, Racine, C; De la Noüe, J. (1989). Culture of cyanobacteria for tertiary wastewater treatment and biomass production. *Biological Wastes*, 29, 81-91.



- Rodríguez, Leyanis; Gómez, Liliana y Peraza, Yamilet. (2014). Evaluación del crecimiento de *Chlorella vulgaris* en diferentes concentraciones de vinaza. *Centro Azúcar*, 41, 75-85.
- Salazar, Margarita. (2005). Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales. *Laboratorio de Microbiología y Tratamiento de Aguas Residuales*, Universidad Autónoma de México.
- Sánchez, Y; Reyna, R; Aguilar, R; Torres, G; Rodríguez, R. (2016). Tratamiento fúngico de un agua residual municipal en un reactor air-lift de circulación interna. *ResearchGate*.
- Valderrama, T; Del Campo, M; Rodríguez, M; Bashan, E; Bashan, Y. (2002). Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscula*. *Water Research*, 36, 4185-4192.
- Velasco, H. (2009). An airlift continuous bioreactor for high-rate treatment of domestic sewage. *New Biotechnology*, 25, 197-198.
- Velasco, Yohana; Muñoz, Marcela; Ramírez, Juan; Otero, Angélica; Medina, Víctor; Cruz, Pablo. (2011). Efecto del medio de cultivo sobre el crecimiento y el contenido proteico de *Chlorella vulgaris*. *Rccp Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25, 438-449.
- Wang, J; Zhong, J. (2001). *Bioprocessing For Value-Added Products From Renewable Resources*. Elsevier Science, 131-161.
- Wong, J; Wong, Y; Tam, N. (2000). Nickel biosorption by two *Chlorella* species, *C. vulgaris* (a commercial species) and *C. miniata* (a local isolate). *Bioresource technology*, 73, 133- 137.