



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encontro Internacional de
Educação em Engenharia ACOFI

Diseño de un sistema de depuración con algas verdes como alternativa de tratamiento de aguas residuales en el Río Chiriaimo

Elisa Alejandra Daza Castro, Luis Miguel Nier Contreras, José Mauricio Pérez Royero

**Universidad Popular del Cesar
Valledupar, Colombia**

Resumen

La contaminación de los cuerpos de aguas superficiales causada por los vertimientos de aguas residuales, ha impulsado a investigar y a desarrollar nuevas tecnologías y/o alternativas que ayuden a mitigar los impactos ambientales negativos causados y que además sean amigables con el ambiente. Las microalgas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales pueden ser consideradas como una efectiva alternativa de tratamiento de aguas residuales, puesto que, tienen alta eficiencia de remoción de nutrientes que son contaminantes y que alteran negativamente las características del agua. En esta investigación se diseñó e implementó un prototipo piloto de un sistema de depuración de aguas residuales, el cual consta de un tanque de almacenamiento de agua residual y cinco reactores en serie, como alternativa de tratamiento para las aguas residuales domésticas vertidas al Río Chiriaimo. Se establecieron y estudiaron tres diferentes alturas de láminas de agua, para determinar la eficiencia y capacidad de remoción (DQO, DBO, Nitratos, Fosfatos), que tiene la microalga *Chlorella s.p.*

Los resultados obtenidos verifican la gran capacidad que tiene esta microalga de absorber e incorporar en su composición celular nutrientes contaminantes como el nitrógeno y el fósforo, presentes en el agua residual doméstica.

Palabras clave: microalga *Chlorella s.p.*; depuración; aguas residuales; contaminación

Abstract

The contamination of bodies of water caused by the discharge of wastewater has prompted research and development of new technologies and / or alternatives that help mitigate the negative environmental impacts caused and are also environmentally friendly. The microalgae used in wastewater treatment can be considered as an effective alternative for wastewater treatment, since they have high efficiency of removal of nutrients that are polluting and negatively alter the characteristics of the water. In this research, a pilot prototype of a wastewater treatment system was designed and implemented, which consists of a wastewater storage tank and five series reactors, as an alternative treatment for domestic wastewater discharged into the Chiriamo River. Three different heights of water sheets were established and studied to determine the efficiency and removal capacity (QOD, BOD, Nitrates, Phosphates) that the Chlorella s.p.

The results obtained verify the great capacity of this microalga to absorb and incorporate into its cellular composition polluting nutrients such as nitrogen and phosphorous, present in domestic wastewater.

Keywords: microalgae Chlorella s.p; purification; wastewater; contamination

1. Introducción

La aplicación de microalgas en el tratamiento de aguas residuales es importante porque permite la remoción de nutrientes contaminantes (nitratos y fosfatos), la eliminación de nitrógeno amoniacal, la disminución de la demanda biológica de oxígeno y remoción de metales pesados, para mejorar la calidad del efluente vertido a cuerpo hídrico receptor. La implementación de este sistema de depuración es una de las alternativas más viable y eficaz para la solución a esta problemática ambiental, puesto que este sistema trae múltiples beneficios como minimizar el impacto ambiental que causa el vertimiento de las aguas residuales en el Río Chiriamo, disminuir los contaminantes y el exceso de sustancias tóxicas vertidas, entre otros; además de que es un sistema de muy bajo costo, ya que no necesita tecnologías costosas para su aplicación.

Finalmente, esta investigación mediante su prototipo piloto del sistema de depuración, pudo determinar la capacidad de remoción hasta de un 90% que tiene la microalga Chlorella s.p. en parámetros como la DBO y DQO, y siendo eficiente para parámetros como nitratos, fosfatos, SST, pH y coliformes presentes en las aguas residuales domésticas vertidas al Río Chiriamo, ubicado en Municipio de San José de Oriente, corregimiento de Betania, Colombia, obteniendo eficientes resultados en la remoción de contaminantes orgánicos.

2. Materiales y métodos

El diseño de investigación en el que está enfocado este proyecto es el diseño de investigación experimental, puesto que en la elaboración de este sistema de depuración realizamos estudios en

donde manipulamos deliberadamente múltiples variables ambientales, a las cuales analizamos mediante la relación causa-efecto para poder obtener una validez interna, el cual se desarrollaron por fases.

2.1. Fase I: Caracterización de las aguas residuales generadas en la población objeto de estudio, evaluando los parámetros DBO5, DQO, pH, SST, coliformes, Nitratos y fosfatos

Se fundamenta principalmente en la evaluación de la calidad del agua y en la determinación de los parámetros anteriormente mencionados. Utilizamos la siguiente metodología para realizar el muestreo y el posterior estudio del agua residual.

- Tipo de muestreo utilizado: se realizaron dos (2) tipos de muestreo el compuesto y el puntual.
- Muestreo compuesto: compuesto son varias muestras puntuales tomadas en diferentes tiempos y en un mismo sitio.

Este muestreo se realizó antes, durante y después del vertimiento de aguas residuales en el Río Chiriamo.

- Muestreo puntual o simple, el cual consiste en tomar en un tiempo y lugar determinado, una muestra de agua residual para su posterior análisis individual.

Este tipo de muestro se realizó en la planta piloto de nuestro sistema de depuración, para medir la eficiencia de este. El procedimiento para la toma de muestras puntuales se pudo desarrollar a través de la utilización de un muestreador (agua superficial y subterránea) o de un balde (aguas superficiales y vertimientos).

2.2. Fase II: Realización de pruebas físicas, químicas

Para la realización de las pruebas, físicas, químicas de las aguas residuales y de la fuente hídrica denominada del Río Chiriamo, donde se tomaron los siguientes parámetros. En la tabla 1, se expresa la metodología de realización de ensayos de laboratorio.

Tabla 1, Métodos de ensayos de laboratorio

PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	
ANÁLISIS	MÉTODO
pH	4500-H+ B - Electrométrico 7,24
DQO mg O ₂ /L (A) SM	5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico 135
DBO5 mg O ₂ /L (A) SM	5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días 105
Solidos Suspendido Totales mg/L (A) SM	SM 2540 B - Gravimétrico 418
E-coli NMP/100 mL (A) S	SM 9223 D - Sustrato enzimático multicelda
Colifirme totales NMP/100 mL (A) SM	SM 9223 B - Sustrato enzimático multicelda
Fosfatos mg P/L (A) SM	4500-P B,E - Fotométrico 1,38

Nitrato mg N-NO ₃ /L (A) J+	Rodier, 3ra Ed. 1998 - Fotométrico <
Temperatura °C (A)	2550 B - Electrométrico 21,1

Fuente: Autores, 2020.

Estos análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio Agroambiental del Centro Biotecnológico del Caribe, SENA.

2.3. Fase II: Planteamiento de la alternativa de diseño más viable para la elaboración del sistema de depuración con algas verdes

Después de haber estudiado los parámetros DBO₅, DQO, SST, coliformes, nitratos y fosfatos que impactan y generan contaminación al Río Chiricaimo, se revisó toda la información bibliográfica libros, artículos científicos, tesis, POMCAS, guías técnicas y se procedió a determinar cuáles serían los parámetros de diseño pertinentes Teniendo en cuenta los parámetros de crecimiento del alga (*Chlorella s.p.*), condiciones ambientales del sector, caudal, topografía, entre otros. Se planteó tres alturas de lámina de agua de funcionamiento, con el fin de optimizar el sistema y seleccionar la más eficiente según el índice de remoción en tiempo de los parámetros estudiados.

2.4. Fase III Elaborar el modelo (a escala de laboratorio) del sistema de depuración con algas verdes (*Chlorella s.p.*)

Al establecer los parámetros de diseño se procede a comprar y a realizar el montaje del prototipo a escala piloto para evaluar la eficiencia de remoción del sistema.

- Compra de materiales: se procedió a comprar, cortar y pintar todos los materiales necesarios para elaborar e instalar nuestro prototipo piloto.
- Delimitación y limpieza de terreno: después de haber estudiado toda el área y seleccionar el lugar más adecuado para instalar nuestro prototipo piloto, teniendo en cuenta principalmente la iluminación solar, entre otras, procedimos a delimitarlo y a limpiarlo.
- Instalación del prototipo piloto

2.5. Fase IV: Evaluar la eficiencia del sistema de depuración con algas a través de la calidad de agua del efluente

Esta fase se basa en evaluar la calidad del agua después de haber implementado el sistema de depuración y por consiguiente medir la eficacia de nuestro sistema de depuración. Para evaluar la calidad de las aguas residuales después de haber implementado nuestro sistema de depuración se aplicó la siguiente metodología:

Realizar análisis a los parámetros DQO, DBO₅, SST, coliformes, pH, nitratos y fosfatos de las muestras de agua residuales tomadas en el vertimiento (afluente).

Realizar análisis a los parámetros DQO, DBO₅, SST, pH, coliformes, nitratos y fosfatos del efluente de nuestro sistema de depuración (prueba piloto).

Realizar una comparación entre los estudios realizados y la normativa colombiana sobre vertimiento de aguas residuales la Resolución de 0631 de 2015 (Calidad de vertimientos).

Establecer el porcentaje de remoción y eficiencia de nuestro sistema mediante la siguiente fórmula matemática:

$$Ef = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100 \quad \text{EC. 1}$$

Donde:

Ef: eficiencia de remoción

Ci: concentración inicial

Cf: concentración final

2.6. Fase (Aislamiento Y Masificación De La Microalga Chlorella Sp.)

En esta fase, se realizó el aislamiento de la microalga Chlorella sp, propia de los estanques de cultivo para peces (tilapia roja) del área acuícola del C.B.C, tomando una muestra y preparando el cultivo mediante la metodología de AGAR AGAR. Paso seguido fue realizar su siembra mediante centrifugación de la muestra: donde se dejó sedimentar la muestra durante 30 minutos y con una micropipeta Pasteur se procede a tomar 5 mL del fondo, para tomar la mayor concentración de microalgas. En la siguiente figura 1, se pueden apreciar los resultados obtenidos del cultivo proporcionado.

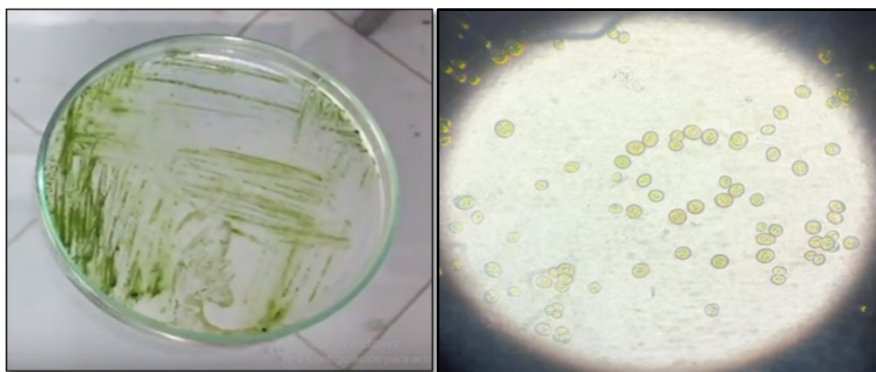


Figura 1. Crecimiento de microalga en caja Petrie identificación de Chlorella s.p. objetivo 40X

Fuente: Autores, 2020

Dentro de la Identificación taxonómica, se realizó con una muestra de 100ml, la cual fue visualizada a través de un microscopio en el objetivo 100X. Para identificar la microalga Chlorella s.p. se tomaron como referencia bases de datos (Algae Resource Database <https://shigen.nig.ac.jp/algae/strainClassListAction.do>), claves taxonómicas y bibliografía especializada para una adecuada identificación. Adicionalmente, contamos con el apoyo de una microbióloga que ayudó con la identificación de la microalga Chlorella s.p. Para la masificación de la biomasa se utilizaron fotobiorreactores, a los cuales se les adicionaron agua destilada más el fertilizante triple 15 y el inoculo (microalga). Estos tenían suministro constante de aireación, las cuales las proporcionaban blowers o aireadores para peceras y velas Led's en un fotoperiodo de 12 horas oscuridad y 12 horas luz, se les proporcionaba agitación manual dos veces al día. Inicialmente, se masificó a un volumen de 10ml, seguidamente 500 ml, 3 lt y 60 lt

3. Resultados y discusión

Dentro de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales, se tomaron tres puntos, el primero generada en la población objeto de estudio, la segunda toma se realizó en el agua residual vertida, antes y después del vertimiento de agua residuales al Río Chiriamo, midiendo los parámetros DBO₅, DQO, pH, SST, pH, Temperatura, coliformes totales, Nitratos y fosfatos, donde obtuvieron las siguientes concentraciones. En la tabla 3, se expresan los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua residual cruda generada en el Municipio de San Jose de Oriente-Cesar, Colombia

Tabla 3. Análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua residual cruda

PARÁMETROS	UND	RESULTADO			RESULTADO PRO-MEDIO	V MAX (RESOLUCIÓN 0631 2015)
DQO	mgO ₂ /Lt	195,97	202,47	200,73	199,72	180,00
DBO ₅	mgO ₂ /Lt	104,31	105,14	101,91	103,79	90,00
pH	-	6,65	6,58	6,43	6,55	6,00 a 9,00
Temperatura	°C	27,3	25,77	26,97	26,68	-
Coliformes	NMP/mL	≥2400	≥2400	≥2400	≥2400	-
Nitratos	mgNO ₃ /Lt	1,120	1,108	1,090	1,110	Análisis y reporte
Fosfatos	mgPO ₄ /Lt	0,230	0,227	0,230	0,230	Análisis y reporte
SST	mg/Lt	81,00	82,67	81,00	81,56	90,00

Fuente: autores, 2020

Según los resultados obtenidos el agua residual, por su origen doméstico, no cumple con los parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015, sobrepasando los límites máximos permitidos de los parámetros DQO y DBO, lo cual altera representativamente la calidad del río. En cuanto a los SST no excede el límite permisible, pero se vierten con una concentración muy cercana a lo establecido por la resolución. En la Tabla 4. Se expresan los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domesticas después de haber realizado su vertimiento al Río Chiriamo.

Tabla 4, Resultado análisis fisicoquímicos y microbiológicos del Río Chiriamo (DV).

PARÁMETROS	UND	RESULTADO			RESULTADO PRO-MEDIO
DQO	mgO ₂ /Lt	36,3	42,1	40,6	39,67
DBO₅	mgO ₂ /Lt	13,7	11,4	13,5	12,87
pH	-	7,8	7,4	7,6	7,60
Temperatura	°C	25,1	25,4	26,3	25,60
Coliformes	NMP/mL	≥2400	≥2400	≥2400	≥2400
Nitratos	mgNO ₃ /Lt	1,107	1,434	1,369	1,30
Fosfatos	mgPO ₄ /Lt	0,329	0,378	0,402	0,37
SST	mg/Lt	74,7	66,41	79,60	73,57

Fuente: autores, 2020.

Dentro del planteamiento de la alternativa de diseño más viable para la elaboración del sistema de depuración con algas verdes se diseñó el montaje pilote, para determinar la eficiencia y remoción de las algas estudiadas. En la Figura 1. Se muestra el montaje del sistema planteado. A continuación, se presenta el modelo piloto que diseñamos en el software AutoCAD.

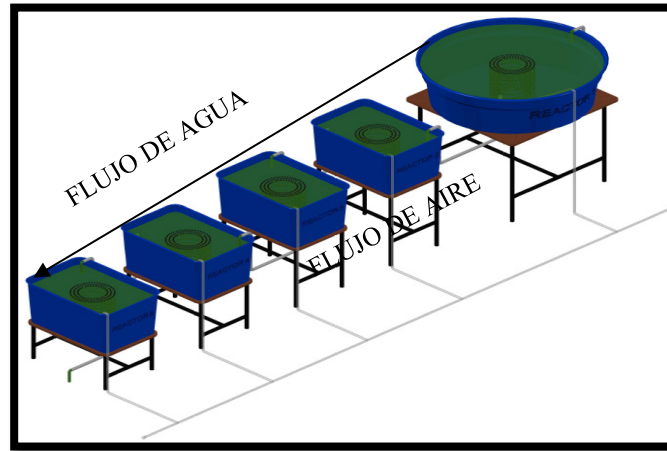


Figura 3. Diseño de prototipo piloto, Elaborado en AutoCAD
Fuente: Autores, 2020

Descripción del prototipo piloto: El sistema de depuración planteado posee 5 reactores abiertos y en serie, el reactor 1 posee un mayor volumen lo que permite una mayor capacidad de tratamiento por otra parte los reactores 2,3,4 y 5 aumentaran el tiempo de retención celular e hidráulico en el sistema. Posee un sistema de aireación que permite la aireación y mezcla individual en cada reactor, tiene 5 estructuras con diferentes alturas que incrementan consecutivamente y que permiten tanto el soporte de los reactores como el flujo de agua por gravedad. En la Tabla N°. 5. Se expresan las dimensiones del montaje o prueba piloto.

Tabla 5. Dimensiones de los tanques de almacenamiento de la prueba piloto.

Estructura	Tanque de almacenam- miento		Reactor 1		Reactor 2	
Dimensiones	Alto	96 cm	Alto	35 cm	Alto	36 cm
	Diámetro inferior	70 cm	Diámetro inferior	89 cm	Largo promedio	54 cm
	Diámetro superior	108 cm	Diámetro superior	100 cm	Ancho promedio	37 cm
Estructura	Reactor 3		Reactor 4		Reactor 5	
Dimensiones	Alto	36 cm	Alto	36 cm	Alto	36 cm
	Largo promedio	54 cm	Largo promedio	54 cm	Largo promedio	54 cm
	Ancho promedio	37 cm	Ancho promedio	37 cm	Ancho promedio	37 cm

Fuente: Autores, 2020.

Funcionamiento: El modo de operación del sistema es semicontinuo, para todas las alturas de láminas de agua el flujo de alimentación es del 30% del volumen total diario del reactor 1. El suministro de agua se realiza de forma manual, se vierte el volumen de recambio diario al tanque

de almacenamiento, el cual, abastece a los reactores con un caudal regulado, por un tiempo aproximado de 3 horas. Los reactores cuentan con una diferencia de altura de 8 cm, lo que permite que el flujo de agua sea por acción de la gravedad. Este flujo pasa por los cinco reactores conectados en serie, en donde las microalgas realizan la respectiva depuración. Al final del sistema el agua tratada es recolectada en un tanque, donde se realiza la sedimentación de la microalga, para luego ser analizada en el laboratorio, donde se le realiza procesos de coagulación-floculación para realizar los análisis de los parámetros de interés. Finalmente, cabe resaltar que el volumen de agua evaporado diariamente en cada reactor se reponía respectivamente. Como resultados para evaluar la eficiencia del sistema de depuración con algas, se hizo a través de la realización de calidad de agua del efluente, obteniendo los siguientes resultados: Para una altura laminar de agua de 0,12m, se obtuvieron valores promedios de remoción de DQO de 82,46%, de DBO del 86,18%, de Coliformes totales superiores al 99,87%, de Nitratos mayores al 55,36%, Fosfatos mayores a 89,13% y de SST mayores a 98,77%. En la Tabla 6. Se expresan los resultados obtenidos para esta lámina de agua.

Tabla 6. Análisis lámina de agua de 0,12 metros.

PARÁMETROS	RESULTADO PROMEDIO EFLUENTE	%REMOCIÓN	MAX (RESOLUCIÓN 0631 2015)	INFERENCIA
DQO (mgO ₂ /Lt)	34,37	82,46	180,00	Cumple con el valor máximo permitido.
DBO ₅ (mgO ₂ /Lt)	14,42	86,18	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.
pH	8,29	-	6,00 a 9,00	No modifica este parámetro
Temperatura °C	27,00	-	-	No modifica este parámetro
Coliformes (NMP/mL)	<3	>99,87	-	Reduce significativamente.
Nitratos (mgNO ₃ /Lt)	<0,5	>55,36	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
Fosfatos (mgPO ₄ /Lt)	<0,025	>89,13	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
SST (mg/Lt)	< 1	>98,77	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.

Fuente: Autores, 2020.

Cada parámetro estudiado cumple con el valor máximo permitido establecido por la resolución 0635 de 2015. (DQO, DBO y SST). En cuanto a Coliformes, Nitratos y Fosfatos, existe una reducción significativa de cada parámetro. Para esta lámina de agua se obtuvieron valores promedios de remoción de DQO de 83,79%, de DBO del 91,60%, de Coliformes totales superiores al 99,87%, de Nitratos mayores al 54,87%, Fosfatos mayores a 88,99% y de SST mayores a 98,79%. Para una altura laminar de 0,21 metros, se obtuvieron los siguientes resultados. En la tabla 7. Se expresan los resultados obtenidos para esta profundidad.

Tabla 7. Análisis lámina de agua de 0,21 metros.

PARÁMETROS	RESULTADO PROMEDIO EFLUENTE	%REMOCIÓN	MAX (RESOLUCIÓN 0631 2015)	INFERENCIA
DQO (mgO₂/Lt)	32,83	83,79	180,00	Cumple con el valor máximo permitido.
DBO₅ (mgO₂/Lt)	8,83	91,60	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.
pH	8,39	-	6,00 a 9,00	No modifica este parámetro
Temperatura °C	26,76	-	-	No modifica este parámetro
Coliformes (NMP/mL)	<3	>99,87	-	Reduce significativamente.
Nitratos (mgNO₃/Lt)	<0,5	>54,87	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
Fosfatos (mgPO₄/Lt)	<0,025	>88,99	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
SST (mg/Lt)	< 1	>98,79	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.

Fuente: Autores, 2020.

Cada parámetro estudiado cumple con el valor máximo permitido establecido por la resolución 0635 de 2015. (DQO, DBO y SST). En cuanto a Coliformes, Nitratos y Fosfatos, existe una reducción significativa de cada parámetro. Para la lámina de agua de 0,30m, se obtuvieron valores promedios de remoción de DQO de 82,04%, de DBO del 87,41%, de Coliformes totales superiores al 99,87%, de Nitratos mayores al 54,13%, Fosfatos mayores a 88,13% y de SST mayores a 98,77%. Para una altura laminar de 0,30 metros se obtuvieron los siguientes resultados. En la tabla 8, se expresan los resultados obtenidos para una lámina de agua de hasta 0,30m.

Tabla 8. Análisis lámina de agua de 0,30 metros

PARÁMETROS	RESULTADO PROMEDIO EFLUENTE	%REMOCIÓN	MAX (RESOLUCIÓN 0631 2015)	INFERENCIA
DQO (mgO₂/Lt)	36,06	82,04	180,00	Cumple con el valor máximo permitido.
DBO₅ (mgO₂/Lt)	12,83	87,41	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.
pH	6,70	-	6,00 a 9,00	No modifica este parámetro
Temperatura °C	26,70	-	-	No modifica este parámetro
Coliformes (NMP/mL)	<3	>99,87	-	Reduce significativamente.
Nitratos (mgNO₃/Lt)	<0,5	>54,13	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
Fosfatos (mgPO₄/Lt)	<0,025	>89,13	Análisis y reporte	Reduce significativamente.
SST (mg/Lt)	< 1	>98,77	90,00	Cumple con el valor máximo permitido.

Fuente: Autores, 2020.



Cada parámetro estudiado cumple con el valor máximo permitido establecido por la resolución 0635 de 2015. (DQO, DBO y SST). En cuanto a Coliformes, Nitratos y Fosfatos, existe una reducción significativa de cada parámetro.

4. Conclusiones

El agua residual vertida al Río Chiriaoimo afecta significativamente las características fisicoquímicas y microbiológicas del río, puesto que están siendo vertidas directamente sin tratamiento alguno. De acuerdo con la revisión general de las PTAR, se evidencia que actualmente los cuatro (4) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales ubicados en los corregimientos de San José de Oriente y Betania se encuentran fuera de servicio, por lo cual se puede inferir que se realiza vertimiento de aguas residuales domésticas sobre las fuentes receptoras (Río Chiriaoimo) sin ningún tipo de tratamiento previo (CORPOCESAR y CORPOGUAJIRA, 2019)."

En cuanto al prototipo piloto del sistema de tratamiento, las diferentes alturas de láminas de agua planteadas y evaluadas (0,12 m, 0,21 m y 0,30) tienen eficiencias de remoción altas, las cuales cumplen con lo establecido por la resolución 0635 de 2015. Consideramos que la altura de lámina de agua más óptima es la de 0,30 m, aunque no tenga los porcentajes de remoción más altos para cada parámetro, cumple con lo establecido y tiene la capacidad de tratar un mayor volumen de agua residual. Finalmente, la microalga *Chlorella* sp., demostró tener grandes capacidades de remover nutrientes contaminantes en el agua (nitratos y fosfatos), incorporan en su composición celular nitrógeno y fósforo durante su desarrollo y crecimiento, por lo que emplearlas como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas normalmente ricas en nutrientes, constituye una práctica altamente viable y sustentable para el medio ambiente.

5. Recomendaciones

Una vez concluida esta investigación, se considera importante seguir investigando otros aspectos fundamentados en la capacidad depuradora que tiene la microalga y en la optimización del prototipo piloto, por ende, se recomienda lo siguiente:

Aprovechar la biomasa algal producida en el sistema, ya sea, con fines agrícolas (utilizarlas como biofertilizantes), producción de biogás, producción de piensos, producción de alimentos para peces, entre otras.

Proporcionar la aireación y agitación necesaria al sistema para evitar la sedimentación de la biomasa algal, lo cual afectaría la eficiencia de remoción del sistema.

Para la fase de aislamiento y masificación se recomienda monitorear las condiciones de crecimiento, las cuales influyen directamente en el desarrollo de microalgas (la luz, la temperatura, la agitación, las fuentes disponibles de nutrientes, carbono y la aireación). Se debe tener en cuenta que el cuidado y el mantenimiento de los cultivos son muy importante, puesto que estos son susceptibles a la contaminación ya sea por otras microalgas, bacterias, hongos y otros microorganismos.

6. Bibliografía

- Abdel R, and Ibraheem, I.B.M. (2012) Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences 19(3), 257-275.
- Pérez A. (2014), Microalgas, cultivo y beneficios, Revista de Biología Marina y Oceanografía.
- Aparicio P, Quiñones M. y Witt F (2007). Depuración de aguas continentales mediante cultivos de macroalgas verdes filamentosas que absorban y reciclen nutrientes y/o fijen metales pesados generando biomasa vegetal.
- Arnold M. 2013. Sustainable algal biomass products by cultivation in waste water flows. VTT Technology 147: 1- 84. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Aslan, S, Kapdan, IK, 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal syntetic wastewater by algae. Ecological Engeneering 28, 64,70.
- AST ingeniería S.L: Parque científico y tecnológico de Gijón. (2013). Aplicaciones de las microalgas: estado de la técnica.
- Valdés J. R, and Aguilar J. C, Méndez-Zavala A, Valdivia; Montañez B. (2012) Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores, Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Volumen 4, No. 7
- Brennan, L. and Owende, P. (2010) Biocombustibles a partir de microalgas: una revisión de tecnologías para la producción, procesamiento y extracción de biocombustibles y coproductos. Revisiones de energías renovables y sostenibles.
- Cabrera M y Pulla M. (2014). Línea base para el aprovechamiento de microalgas de sistemas de tratamiento de agua residual.
- Cagliani M. 2009. Microalgas, eficaces en el tratamiento de aguas residuales. Cambio Climático.
- Candela R. (2016). Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica.
- Cerezo J. (2011). Estación depuradora del agua residual, consultado junio 2020 en: <https://upcomons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12885/PFC.pdf>
- Cerón V. y Peña Varón Miguel. (2014). Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales.
- Chen J. 2011. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review. Bioresource Technology 102: 71-81.
- ecoLAN: ingeniería y consultoría ambiental. 2008. Consultado junio 2020 en <http://www.ecolaningenieria.com/>
- EcuRed: Conocimientos con todos y para todos. Consultado Junio 2020 en https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana
- El Centro de Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos: Monografias.com S.A.
- Forero P. (2015). Fundamento teórico sobre tratamiento de aguas residuales por fitorremediación
- Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, OEFA. 2011, consultado agosto 2020 en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Flotats X, et al. 2011. Manure Processing Activities in Europe - Project reference: ENV.B.1/ETU/2010/0007 Manure Processing Technologies. Technical Report 2, European Commission, Directorate-General Environment, 184 pp.
- Garcés L, et al. (2014). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.
- Gómez L. 2007. Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. Revista Cubana de Química 19(2): 3-20.
- Gutiérrez et al. (2012), Caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del Río Cesar, Valledupar.



- Hammouda O, A Gaber and N Abdel-Raouf. 1995. Microalgae and wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 31: 205-210.
- Harun R, et al. 2011. Technoeconomic analysis of an integrate microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility. *Biomass and Bioenergy* 35: 741-747.

Sobre los autores

- **Elisa Alejandra Daza Castro:** Ingeniera Ambiental y Sanitaria. ealejandradaza@unicesar.edu.co
- **Luis Miguel Nier Contreras:** Ingeniero Ambiental y Sanitario lnier@unicesar.edu.co
- **José Mauricio Pérez Royero:** Magister en Ciencias ambientales, especialista en gestión integral de cuencas hidrográficas, Ingeniero Ambiental. Docente ocasional. joseperez@unicesar.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

