



BIORREMEDIAÇÃO ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE FOTOGRÂNULOS EM ÁGUAS RESIDUAIS AGROINDUSTRIAIS

Alejandro C. TRIVIÑO¹; Luísa C. RUBIO²; Sandra B. VARGAS³

RESUMO

Os efluentes das atividades agrícolas são ricos em nitrogênio amoniacal, fosfatos e DQO. A maioria das substâncias chega aos corpos hídricos causando problemas como eutrofização e baixo teor de oxigênio dissolvido. Associações de microalgas e bactérias têm a capacidade de reduzir agentes poluentes em condições controladas, além de produzir biomassa à base de fotogrânulos com diversos usos. O trabalho avaliou a produção de fotogrânulos em biorreatores estáticos abertos expostos à luz natural por duas semanas, com dois regimes hidrodinâmicos diferentes (50 rpm e mais de 100 rpm). Observou-se uma remoção de fosfato e amônia entre 94% e 98% em ambos os tratamentos, assim como uma redução de 100% em *E.coli*. A remoção de DQO foi entre 58% e 15,9% para 50 rpm e mais de 100 rpm. Esses resultados demonstram a viabilidade dos fotogrânulos como tratamento secundário de efluentes agroindustriais.

Palavras-chave: Remoção, Amônio, Fosfato, DQO, *E. coli*.

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos do saneamento básico em relação à prestação de serviços públicos na Colômbia é o tratamento de águas residuais (MADR, 2011). O setor agroindustrial, que é o maior consumidor de água no país, com uma demanda superior a 60% do total de água utilizada (processos produtivos e uso doméstico) (IDEAM, 2019), gera diversos contaminantes em seus efluentes. Portanto, é essencial submetê-los a tratamentos que permitam sua reintrodução no setor produtivo, considerando sua perspectiva de uso sustentável.

O termo "anel microbiano", citado por Azam *et al.* (1983), refere-se às interações ecológicas que ocorrem em corpos d'água naturais entre diferentes organismos, destacando a relação entre bactérias (organismos heterotróficos) e produtores aquáticos primários (fitoplâncton), incluindo as microalgas. As microalgas são capazes de produzir matéria orgânica dissolvida (MOD) e oxigênio, enquanto as bactérias são eficientes consumidoras de carbono orgânico, com taxas de assimilação desse elemento entre 40% e 90%. As microalgas utilizam o CO₂ resultante da respiração bacteriana como fonte de carbono e assimilam nutrientes como nitrogênio e fósforo para formar proteínas, correspondendo de 45% a 60% de seu peso seco (MUÑOZ & GUIEYSSE, 2006). Portanto, as microalgas são usadas no tratamento de águas residuais, ricas em nutrientes, sendo uma ferramenta útil para restaurar os ecossistemas aquáticos e reduzir a poluição ambiental.

¹ Discente de Engenharia Ambiental, Universidad de Cundinamarca – *Campus* Girardot. E-mail: Alejandrocto23@gmail.com

² Discente de Engenharia Ambiental, Universidad de Cundinamarca – *Campus* Girardot. E-mail: luisafernandacastro@ucundinamarca.edu.co

³ Orientador, Universidad de Cundinamarca – *Campus* Girardot. E-mail: sbvargas@ucundinamarca.edu.co

Um estudo realizado por Garcia *et al.* (2019), mostrou que as microalgas podem remover até 98% dos nutrientes presentes em águas residuais, o que representa uma alternativa econômica e sustentável para a remoção de poluentes. Por exemplo, as microalgas podem substituir os aeradores convencionais utilizados no tratamento de águas residuais, atendendo às necessidades de oxigênio das bactérias aeróbicas. O tratamento adequado das águas residuais é essencial para prevenir a poluição da água e proteger a saúde humana, conforme destacado por Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Neste sentido, a interação entre microalgas e bactérias é uma alternativa eficaz para o tratamento de efluentes, contribuindo para a minimização dos riscos ambientais e à saúde causados pelo lançamento de poluentes no meio ambiente. Além disso, essa abordagem apresenta bons rendimentos e reduz o consumo de energia.

As microalgas são organismos altamente adaptáveis que podem crescer em diversas condições ambientais, o que permite o seu cultivo em diferentes áreas geográficas (TORZILLO & VONSHAK, 2013). Isso as torna uma alternativa promissora para a produção de biomassa e outros produtos de alto valor agregado, devido ao seu alto rendimento e baixos requisitos. Ao contrário de culturas alimentares, o cultivo de microalgas não requer o uso de terras produtivas, o que evita a competição com produção de alimentos. Além disso, o cultivo de microalgas apresenta uma grande eficiência energética por hectare (MATA *et al.*, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foi estabelecida, como zona de amostragem, um escoamento agroindustrial localizado em uma área rural no município de Girardot, localizado na província Alto Magdalena, departamento de Cundinamarca na Colômbia, com as coordenadas geográficas 4°23'33.6"N 74°45'40.6"W. A amostra coletada foi transportada para os laboratórios de pesquisa da Universidade de Cundinamarca, seccional de Girardot, onde foram realizadas análises para caracterizar os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura e turbidez. Para isso, foram utilizadas sondas e um equipamento de turbidimetria. Os sólidos totais suspensos (STS) e a sedimentação foram analisados seguindo técnicas padronizadas do IDEAM, 2019.

Os parâmetros químicos avaliados foram Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal e fosfatos. Essas análises foram feitas utilizando técnicas colorimétricas com um fotômetro multiparâmetro Hanna HI 83399. Além disso, a biomassa microalgal foi quantificada através da quantificação de clorofila utilizando o método de Lorenzen (1967), em quatro comprimentos de onda, com um espectrofotômetro Jenway 6320D. A qualidade microbiológica da amostra foi determinada através da quantificação de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de *E. coli*. Isso foi feito utilizando o método de filtração por membrana e o meio de cultura diferenciador Chromogenic®.

Para o estudo foram desenvolvidos 12 fotobiorreatores abertos utilizando a água residual agroindustrial. Cada um deles com um volume de trabalho de 1L. Os fotobiorreatores foram

expostos a um regime de luz natural de 12 horas por dia. Duas velocidades de agitação foram comparadas: uma a 50 rotações por minuto (rpm) e outra a mais de 100 (rpm). Após duas semanas, os mesmos parâmetros mencionados anteriormente foram medidos novamente. Além disso, o tamanho do fotogranulado foi analisado utilizando fotografias e do programa *Image-J*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que foram desenvolvidos fotogranulados formados hidrodinamicamente em fotobiorreatores que continham água residual agroindustrial durante duas semanas. Inicialmente, o tamanho das partículas na água era de 0,013 cm², com um volume de sedimentação de 4,5 mL/h; eram partículas facilmente dissolúveis e completamente amorfas. Após duas semanas, os fotogranulados tornaram-se mais compactos, mais arredondados e mais difíceis de dissolver. Foi notado que nos biorreatores com agitação a 50 rpm, foram formados grânulos maiores (0,144 cm²) com um volume de sedimentação de 8,3 mL/h, em comparação com os biorreatores com mais de 100 rpm (0,031 cm²) e um volume de sedimentação de 7,9 mL/h. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores, como o estudo de Park *et al.*, 2021, onde uma baixa velocidade de agitação promove formação mais rápida de grânulos, enquanto uma alta velocidade de agitação diminui as chances de encontro entre células e partículas, retardando o processo de granulação.

A formação dos grânulos pode ser atribuída à libertação de substâncias exopoliméricas que atuam como aglutinantes para microalgas, bactérias e sólidos totais suspensos (STS), onde as microalgas ficam na parte externa do grânulo, expostas a luz solar (SMETANA & GROSSER, 2023). Isso é corroborado pelo aumento de microalgas nos fotobiorreatores ao longo do processo, sendo indetectável na água inicial, passando para Log₇ células/mL ao final do processo, sendo maior nos fotobiorreatores a 50 rpm. A presença de *E. coli* diminuiu significativamente, passando de 3,1 UFC 100 mL⁻¹ na amostra inicial para 0,0 em todos os fotobiorreatores. Fatores como pH, oxigênio dissolvido (OD) e produção de metabólitos naturais podem afetar a população de *E. coli* (SLOMPO *et al.*, 2020). A remoção de fosfato e amônia foi de 94% a 98% em ambos os tratamentos. Quanto à DQO, houve uma remoção de 58% nos fotobiorreatores com agitação a 50 rpm, enquanto nos de mais de 100 rpm foi de 15,9%.

Estudos anteriores já demonstraram a eficácia dos fotogranulados na remoção de amônia e fósforo, por meio da bioassimilação pelas microalgas e nitrificação no meio (FOLADORI *et al.*, 2018). Além disso, a desnitrificação pode ocorrer no interior dos grânulos, onde ambientes anóxicos podem ser gerados (GIKONYO *et al.*, 2021). Por outro lado, os STS aumentaram em 72,67% e 78,08%, e a turbidez também aumentou em 45% e 27% nos fotobiorreatores com agitação a 50 e 100 rpm, respectivamente. Isso se deve ao crescimento simultâneo de microalgas nos fotobiorreatores.

5. CONCLUSÃO

Os fotogranulados podem ser desenvolvidos a partir de águas residuais agroindustriais em fotobiorreatores abertos com agitação constante ao longo de duas semanas. Neste estudo, foi demonstrado a capacidade desses fotobiorreatores para a remoção de amônia, fosfato e, em menor medida, DQO. Além disso, houve uma melhora significativamente, na qualidade microbiológica, com uma redução significativa de *E.coli*. No entanto, é recomendado o uso de um método adicional para a precipitação das microalgas planctônicas, uma vez que os STS e a turbidez aumentam devido às condições implementadas no processo. Embora os fotobiorreatores tenham mostrado eficácia na remoção de poluentes, é necessário encontrar uma solução para minimizar o aumento de STS e turbidez, a fim de obter uma água final de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS

- Azam, F., Fenchel, T., Field, JG, Gray, JS, Meyer-Reil, LA y Thingstad, FJMEPS (1983). El papel ecológico de los microbios de las columnas de agua en el mar. *Serie de avances de la ecología marina. Oldendorf* , 10 (3), 257-263.
- Foladori, P., Petrini, S. y Andreottola, G. (2018). Evolución del tratamiento real de aguas residuales municipales en fotobiorreactores y consorcios microalgas-bacterias utilizando parámetros en tiempo real. *Revista de ingeniería química* , 345 , 507-516.
- Vela-García, N., Guamán-Burneo, M. C., & González-Romero, N. P. (2019). Biorremediación eficiente de efluentes metalúrgicos mediante el uso de microalgas de la amazonía y los andes del Ecuador. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 917-929.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011). *PROYECTO: DESARROLLO DE CAPACIDADES EN EL USO SEGURO DE AGUAS RESIDUALES PARA AGRICULTURA- REPORTE NACIONAL*. www.minagricultura.gov.co
- Muñoz, R. y Guieysse, B. (2006). Procesos algal-bacterianos para el tratamiento de contaminantes peligrosos: una revisión. *Investigación del agua* , 40 (15), 2799-2815.
- Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutrición hospitalaria*, 37(5), 1072-1086.
- Fernández-Linares, L. C., Montiel-Montoya, J., Millán-Oropeza, A., & Badillo-Corona, J. A. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*, 8(3), 101-115.
- Park, C., & Takeuchi, N. (2021). Unmasking photogranulation in decreasing glacial albedo and net autotrophic wastewater treatment. *Environmental Microbiology*, 23(11), 6391-6404.
- Slompo, NDM, Quartaroli, L., Fernandes, TV, da Silva, GHR y Daniel, LA (2020). Eliminación de nutrientes y patógenos de aguas negras tratadas anaeróbicamente mediante microalgas. *Revista de Gestión Ambiental* , 268 , 110693.
- Smetana, G. y Grosser, A. (2023). Los fotogránulos oxigenados: avances actuales en la tecnología y perspectivas en el tratamiento de aguas residuales: una revisión. *Energías* , 16 (1), 523.
- Torzillo, G., & Vonshak, A. (2013). Environmental stress physiology with reference to mass cultures. *Handbook of microalgal culture: Applied phyecology and biotechnology*, 90-113.