

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Reducción de la carga contaminante de los lodos residuales en depuradoras



REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LOS LODOS RESIDUALES EN
DEPURADORAS

Autor Principal: José Miguel Pérez Lombardo (Universidad Pablo de Olavide)

Otros autores: Ana Moral Rama (Universidad Pablo de Olavide); Eva Rodríguez González (Grupo de Bioindicación de Sevilla); Valeria Greyer Tobararía (Universidad Pablo de Olavide)

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
OBJETIVOS	5
MATERIAL Y MÉTODOS	5
RESULTADOS PRELIMINARES	6
CONCLUSIONES	8
BIBLIOGRAFÍA	9

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

INTRODUCCIÓN

Año tras año somos testigos de un aumento de la producción de determinados artículos básicos debido al crecimiento de la población mundial y al propio consumismo de la sociedad. Esto trae consigo un incremento de los contaminantes asociados, como puede ser el fósforo (P) o el nitrógeno (N) provenientes de los fertilizantes de la agricultura o la materia orgánica que deriva de la ganadería y acuicultura intensiva (Bouwman et al., 2011, 2013; Glibert et al., 2018). Cuando estos contaminantes se vierten en el medio se convierten en una de las principales causas de la eutrofización (Pinckney et al., 2001), desregulando el equilibrio del ecosistema lo que favorece el crecimiento de ciertos organismos de forma descontrolada. Entre ellos se encuentran las algas y plantas marinas cuyo crecimiento desmesurado provoca que ante incidencias climatológicas pierdan alguna de sus partes o incluso se desprendan individuos completos (Folgueras et al., 2024). Las partes con bajo volumen permanecen flotando en el mar hasta su degradación o se utilizan como alimento. Las de mayor peso y volumen son arrastradas hasta la costa donde se depositan convirtiéndose en residuos (Yadav et al., 2022). Su descomposición genera grandes cantidades de CO₂ y altera el pH del agua (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017), disminuyendo el oxígeno disuelto y provocando la muerte de los organismos que residen en estos ambientes (B. Liu et al., 2022).

Para evitar la eutrofización, las aguas contaminadas pasan por diversos tratamientos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), que reducen su contaminación hasta límites aceptables para el cauce receptor. Los niveles mínimos de depuración de las aguas se recogen en la legislación española y difieren según la localización de la zona urbana de donde proviene el agua, los habitantes equivalentes de la población o las zonas de vertido de la planta depuradora, siendo los límites más estrictos para las instalaciones que vierten a zonas cuyas aguas tienen tendencia a la eutrofización o para zonas con más habitantes equivalentes, entre otros. La legislación española deriva de la Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (UWWTD) de la Unión Europea, que fue aceptada en 1991 y su revisión fue aceptada en 2022, identificando nuevos problemas y modificando ciertos parámetros.

En la revisión se proponen nuevas medidas que se irán aplicando progresivamente hasta 2040, entre las que se incluyen nuevos valores límite para ciertos contaminantes como P y N. Estas nuevas restricciones han propulsado las nuevas investigaciones en el ámbito de la depuración de aguas residuales, generando así nuevos estudios mediante diversas técnicas, como la desnitrificación autótrofa basada en pirita (Pang et al., 2021) o tratamientos biológicos con microalgas (Q. Zhou et al., 2022). Sin embargo, uno de los procesos más estudiados del tratamiento de aguas para su perfeccionamiento es la eliminación de partículas coloidales.

Las partículas coloidales están presentes en las aguas residuales y se caracterizan por tener un doble carácter hidrofílico e hidrofóbico (Barrios, 2016), con una doble capa de cargas negativas y positivas que impiden que se agrupen entre ellas y puedan decantar. El método más utilizado para eliminar estas partículas consiste en la coagulación-floculación (Renault et al., 2009). Este método consiste en el uso de un coagulante y un floculante para neutralizar la carga de la superficie de las partículas (Zahrim et al., 2019), permitiendo que estas se agrupen y puedan depositarse en el fondo.

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

Debido a su amplio uso, podemos encontrar diversos tipos de floculantes según su composición que se organizan en tres grandes grupos: inorgánicos, orgánicos y naturales.

- **Floculantes inorgánicos:** Compuestos, en su mayoría, por aluminio y hierro y, aunque son muy eficaces, cuentan con diversas desventajas como que suelen dejar trazas de aluminio en los fangos tras ser utilizados o que los iones libres de aluminio pueden llegar a contaminar aguas por infiltración o difusión, generando diversas enfermedades (Tietz et al., 2019). Por su parte, los floculantes con hierro tienen una naturaleza corrosiva, afectando al envejecimiento de los equipos (Porwal et al., 2015).
- **Floculantes orgánicos (basados en poliacrilamidas):** Se encuentran entre los más utilizados por su efectividad en bajas dosis (Das et al., 2022). Sin embargo, su principal desventaja es que provienen de derivados del petróleo o de fuentes no renovables (Suopajärvi et al., 2013), además de ser potencialmente carcinogénicos y tóxicos (Im et al., 2019; Z. Liu et al., 2019).
- **Floculantes naturales:** Seguros y biodegradables, además de que no producen ningún tipo de contaminación secundaria (Bolto & Gregory, 2007). Debido a estas ventajas, encontramos diversos estudios centrados en encontrar nuevos floculantes naturales o potenciar la eficacia de los ya existentes.

ANTECEDENTES

Debido a la baja eficacia de los floculantes naturales en comparación con los otros grupos, muchas líneas de investigación se centran en el uso de estos en conjunto con los químicos, de forma que se pueda reducir la dosis de estos últimos. De esta forma encontramos estudios que utilizan floculantes basados en almidón con cloruro férrico para obtener valores similares de eliminación de P utilizando sólo la mitad de la dosis del floculante químico (Ren et al., 2020), o combinaciones de ácido tánico y cloruro férrico, mejorando ligeramente la eficacia de eliminación de P (Y. Zhou et al., 2008).

Dentro de este campo de investigación, destacan las que se centran en la celulosa, ya que es uno de los polisacáridos más abundantes en la naturaleza (Lee et al., 2014). Las propiedades mecánicas de la celulosa, como la no toxicidad, la biodegradabilidad, el bajo peso y la reciclabilidad la hacen atractiva para una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria, la producción textil y como biomasa energética para producir bioetanol, entre otras (Akatwijuka et al., 2024; Aziz et al., 2023; Chovau et al., 2013; Klemm et al., 2005), sin embargo, la industria del papel y cartón es actualmente la mayor consumidora. En 2021, se produjeron 125 millones y 67,5 millones de toneladas métricas de papel y cartón en China y Estados Unidos, respectivamente. Además, se estima que el 30% del papel actual se utiliza para fines que no eran tan importantes hace una década generando graves problemas debido a la deforestación (Worku et al., 2023).

Para frenar esta deforestación, se ha estudiado ampliamente el uso de materias primas alternativas a las madereras, principalmente residuos agrícolas (Aguado et al., 2016) y de marea (Badmus et al., 2019), evitando además los problemas que generan los propios residuos, como

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

La propagación de plagas en zonas de cultivo que se producen por su acumulación así como la contaminación atmosférica e incendios que se produce por su quema (Moral et al., 2016). Es importante destacar, además, que las primeras investigaciones de revalorización de estos residuos se centraron en su uso como combustibles para disminuir el consumo de carbón y petróleo, pero presentaron problemas debido al bajo poder calorífico y a las limitaciones por estacionalidad en el caso de los residuos agrícolas (FitzPatrick et al., 2010; Li et al., 2017) y al elevado coste energético por su alto contenido en agua, alta viscosidad e inestabilidad térmica por parte de los residuos de marea (Kostas et al., 2021; Kulikova et al., 2022; Rebello et al., 2020). Por estos motivos, su revalorización como material celulósico para la síntesis de floculantes se presenta como una alternativa novedosa y apenas explorada.

Encontramos pocos ejemplos del uso de celulosa como floculante para el tratamiento de aguas residuales. Destacan los estudios de la carboximetilcelulosa de sodio preparada a partir de residuos agrícolas de palmeras datileras en conjunto con sulfato de aluminio (Khiari et al., 2010) o el uso de nanocristales de celulosa cationizada como floculante (Morantes et al., 2019), obteniendo resultados satisfactorios en ambos estudios. Es por ello por lo que el uso de celulosa cationizada como floculante para el tratamiento de aguas residuales se presenta como un uso innovador de los residuos agrícolas y de marea en un campo que se encuentra en constante innovación y desarrollo.

OBJETIVOS

- Síntesis de floculantes naturales basados en celulosa cationizada a partir de residuos agrícolas y de marea.
- Evaluación de la efectividad de los floculantes naturales sintetizados para su uso en el tratamiento de aguas residuales.
- Evaluación del impacto en el resto de los procesos de depuración de aguas residuales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de residuos son tratadas para extraer su celulosa. Para la síntesis de floculantes se realiza una mercerización previa a la cationización de la celulosa. La extracción de celulosa se realiza por el método químico "a la sosa", uno de los menos contaminantes, utilizando NaOH para la extracción.

Por otro lado, la mercerización produce una alteración de la estructura química de la muestra para producir Celulosa II para facilitar su cationización. Esta cationización se realiza utilizando CHPTAC como agente cationizante y permite aumentar la capacidad de eliminación de contaminantes del floculante. Se sintetizan distintos floculantes según la materia prima de la que proviene la celulosa y el grado de cationización.

Las muestras donde se prueban los nuevos floculantes sintetizados se recogen de la recirculación interna de la EDAR Ranilla, en Sevilla, por operarios autorizados.

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

Para la evaluación de la eficacia de los floculantes, se utiliza un floculador (Jar Test) que permite la agitación de 1 a 6 muestras de 500 mL, de forma que la agitación se produzca bajo las mismas condiciones para todas las muestras.

La determinación del Fósforo soluble (Ps) en las muestras se realiza mediante test en cubetas Merck. Estos tests permiten la determinación del Ps por medio de espectrofotometría en un rango de 0.05-25 mg/L.

RESULTADOS PRELIMINARES

En los ensayos preliminares se utilizaron floculantes provenientes de distintas materias primas y con distintos grados de cationización, denominando cada floculante según estos dos parámetros:

Cuadro 1. Floculantes derivados de residuos de *Cannabis sativa* y *Posidonia oceanica* con distintos grados de cationización.

Materia prima	Grado de cationización	Floculante
<i>Posidonia oceanica</i>	Bajo	POSCAB
	Medio	POSCAM
<i>Cannabis sativa</i>	Bajo	CANCAB
	Medio	CANCAB

Estos floculantes se probaron en conjunto con bajas dosis de Cloruro ferroso, uno de los coagulantes químicos más utilizados en el tratamiento de aguas residuales, buscando combinar la eficacia de ambos.

Los resultados obtenidos en estos ensayos preliminares fueron muy prometedores, observando reducciones significativas de Ps en los distintos ensayos.

Cuadro 2. Resultados obtenidos de la eliminación de fósforo soluble con los distintos floculantes naturales desarrollados utilizando distintas materias primas y distintos grados de cationización

POSCAB (+50 µL de Ferroso)						
Nº	1	2	3	4	5	6
Dosis	Control	1 mL	1,5 mL	2 mL	2,5 mL	3 mL
Ps (mg/mL)	4,9	4,9	5,3	4,2	3,4	4,6
Reducción	0,00%	0,00%	-8,16%	14,29%	30,61%	6,12%
POSCAM (+50 µL de Ferroso)						
Nº	1	2	3	4	5	6
Dosis	Control	1 mL	1,5 mL	2 mL	2,5 mL	3 mL
Ps (mg/mL)	5,3	4,9	4,8	5,3	5	4,8
Reducción	0,00%	7,55%	9,43%	0,00%	5,66%	9,43%

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

CANCAB (+50 µL de Ferroso)						
Nº	1	2	3	4	5	6
Dosis	Control	1 mL	1,5 mL	2 mL	2,5 mL	3 mL
Ps (mg/mL)	5,7	5,4	5,3	4,8	5,1	5,2
Reducción	0,00%	5,26%	7,02%	15,79%	10,53%	8,77%

CANCAM (+50 µL de Ferroso)						
Nº	1	2	3	4	5	6
Dosis	Control	1 mL	1,5 mL	2 mL	2,5 mL	3 mL
Ps (mg/mL)	6,4	5,3	6,1	6,4	6,2	6
Reducción	0,00%	17,19%	4,69%	0,00%	3,13%	6,25%

Como se observa en el Cuadro 2, cada floculante tiene una dosis óptima y una eficacia distinta. Destacan los floculantes POSCAB y CANCAB, por ser los floculantes con mayor eficacia dentro de sus respectivas materias primas. Sin embargo, es importante destacar el mejor resultado, logrado por el floculante de *Posidonia oceanica* con bajo grado de cationización, donde se registró hasta un 30,61% de disminución del Ps.

También se puede observar que algunas medidas no dan variaciones de Ps o incluso registran un aumento de este. Aunque es importante seguir investigando estos casos, hay que tener en cuenta que las muestras son muy variables, por lo que algunos casos aislados como estos son esperables (ensayo Nº 3 de POSCAB o ensayo Nº 4 de CANCAM) y fueron asociados a un error de medición puntual.

Por último, en las siguientes gráficas se registran los valores observados de los dos mejores floculantes, marcando también la que sería su dosis óptima:

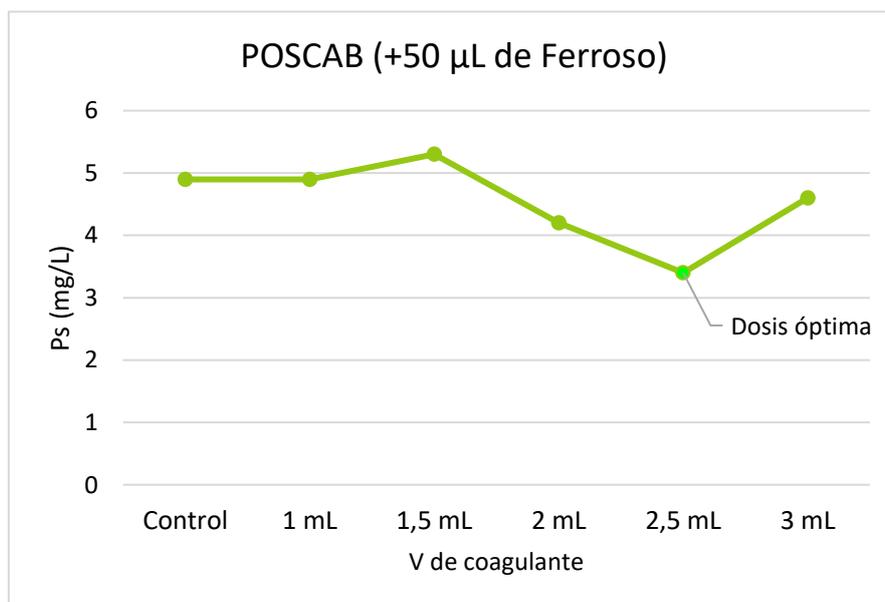


Figura 1. Eficacia del floculante POSCAB en la eliminación de fósforo soluble y dosis óptima.

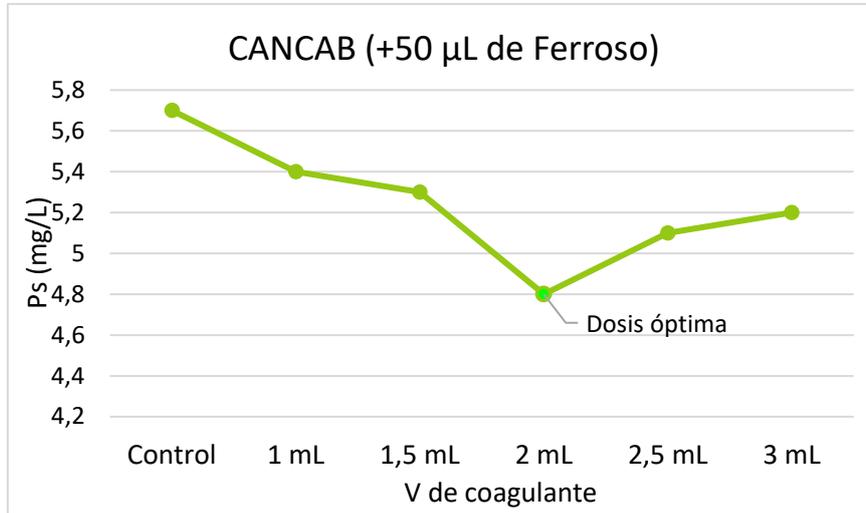


Figura 2. Eficacia del floculante CANCAB en la eliminación de fósforo soluble y dosis óptima.

CONCLUSIONES

Como se ha demostrado en el estudio preliminar, los floculantes naturales basados en celulosa cationizada tienen un potencial prometedor para la eliminación de fósforo en aguas residuales urbanas al ser utilizados de forma conjunta con uno de los coagulantes químicos más utilizados.

Estos ensayos sugieren que el uso de floculantes naturales en combinación con los coagulantes químicos puede ser una estrategia efectiva para conseguir una depuración más eficiente, al disminuir la cantidad de coagulante químico utilizado.

Destaca, sobre todo, el floculante POSCAB, aunque los floculantes basados en residuos de *Cannabis sativa* parecen producir resultados más estables.

Aunque no se hayan realizado los ensayos correspondientes, sería interesante estudiar si estos floculantes afectan, tanto positiva como negativamente, al resto de procesos de la depuración de aguas, como variaciones en la cantidad de nitrógeno (otro de los mayores contaminantes) o en los flóculos producidos por los microorganismos presentes en el proceso de depuración, ya que el ambiente está estrictamente controlado para poder realizar la purificación del agua correctamente.

También sería importante estudiar a qué se deben las diferencias entre los floculantes de distintas materias primas, ya que la celulosa extraída debería ser igual en todos, variando solo según el grado de cationización.

Es fundamental continuar la investigación en este campo con el fin de maximizar y entender la eficacia de estos nuevos floculantes, de esta forma estaremos un paso más cerca del objetivo de alcanzar un proceso de depuración de aguas eficiente, sostenible y respetuoso con el entorno natural.

BIBLIOGRAFÍA

Aguado, R., Moral, A., López, P., Mutjé, P., & Tijero, A. (2016). Morphological analysis of pulps from orange tree trimmings and its relation to mechanical properties. *Measurement*, *93*, 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.06.063>

Akatwijuka, O., Gepreel, M. A.-H., Abdel-Mawgood, A., Yamamoto, M., Saito, Y., & Hassanin, A. H. (2024). Overview of banana cellulosic fibers: Agro-biomass potential, fiber extraction, properties, and sustainable applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(6), 7449-7465. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02819-0>

Aziz, T., Haq, F., Farid, A., Kiran, M., Faisal, S., Ullah, A., Ullah, N., Bokhari, A., Mubashir, M., Chuah, L. F., & Show, P. L. (2023). Challenges associated with cellulose composite material: Facet engineering and prospective. *Environmental Research*, *223*, 115429. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115429>

Badmus, U. O., Taggart, M. A., & Boyd, K. G. (2019). The effect of different drying methods on certain nutritionally important chemical constituents in edible brown seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, *31*(6), 3883-3897. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01846-1>

Barrios, L. R. M. (2016). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, *11*(1).

Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*, *41*(11), 2301-2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>

Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W., Overbeek, C. C., Bureau, D. P., Pawłowski, M., & Glibert, P. M. (2013). Hindcasts and Future Projections of Global Inland and Coastal Nitrogen and Phosphorus Loads Due to Finfish Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, *21*(2), 112-156. <https://doi.org/10.1080/10641262.2013.790340>

Bouwman, A. F., Pawłowski, M., Liu, C., Beusen, A. H. W., Shumway, S. E., Glibert, P. M., & Overbeek, C. C. (2011). Global Hindcasts and future projections of coastal nitrogen and phosphorus loads due to shellfish and seaweed aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, *19*(4), 331-357. <https://doi.org/10.1080/10641262.2011.603849>

Chovau, S., Degrauwe, D., & Van der Bruggen, B. (2013). Critical analysis of techno-economic estimates for the production cost of lignocellulosic bio-ethanol. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *26*, 307-321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.064>

Das, N., Shende, A. P., Mandal, S. K., & Ojha, N. (2022). Biologia Futura: Treatment of wastewater and water using tannin-based coagulants. *Biologia Futura*, *73*(3), 279-289. <https://doi.org/10.1007/s42977-022-00128-1>

FitzPatrick, M., Champagne, P., Cunningham, M. F., & Whitney, R. A. (2010). A biorefinery processing perspective: Treatment of lignocellulosic materials for the production of value-added

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

products. *Bioresource Technology*, 101(23), 8915-8922. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.125>

Folgueras, M. B., Gutiérrez-Trashorras, A. J., Laine-Cuervo, G., & Ríos-Fernández, J. C. (2024). The relevant effect of marine salt and epiphytes on *Posidonia oceanica* waste pyrolysis: Removal of SO₂/HCl emissions and promotion of O/HCOOH formation. *Waste Management*, 181, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.04.014>

Glibert, P. M., Beusen, A. H. W., Harrison, J. A., Dürr, H. H., Bouwman, A. F., & Laruelle, G. G. (2018). Changing Land-, Sea-, and Airscapes: Sources of Nutrient Pollution Affecting Habitat Suitability for Harmful Algae. En P. M. Glibert, E. Berdalet, M. A. Burford, G. C. Pitcher, & M. Zhou (Eds.), *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms* (pp. 53-76). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70069-4_4

Im, D., Nakada, N., Kato, Y., Aoki, M., & Tanaka, H. (2019). Pretreatment of ceramic membrane microfiltration in wastewater reuse: A comparison between ozonation and coagulation. *Journal of Environmental Management*, 251, 109555. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109555>

Khiari, R., Dridi-Dhaouadi, S., Aguir, C., & Mhenni, M. F. (2010). Experimental evaluation of eco-friendly flocculants prepared from date palm rachis. *Journal of Environmental Sciences*, 22(10), 1539-1543. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60286-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60286-2)

Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.-P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358-3393. <https://doi.org/10.1002/anie.200460587>

Kostas, E. T., Adams, J. M. M., Ruiz, H. A., Durán-Jiménez, G., & Lye, G. J. (2021). Macroalgal biorefinery concepts for the circular bioeconomy: A review on biotechnological developments and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111553>

Kulikova, Y., Sukhikh, S., Ivanova, S., Babich, O., & Sliusar, N. (2022). Review of Studies on Joint Recovery of Macroalgae and Marine Debris by Hydrothermal Liquefaction. *Applied Sciences*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/app12020569>

Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 489-508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.04.010>

Li, M., Luo, N., & Lu, Y. (2017). Biomass Energy Technological Paradigm (BETP): Trends in This Sector. *Sustainability*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040567>

Liu, B., Gai, S., Lan, Y., Cheng, K., & Yang, F. (2022). Metal-based adsorbents for water eutrophication remediation: A review of performances and mechanisms. *Environmental Research*, 212, 113353. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113353>

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

Liu, Z., Wei, H., Li, A., & Yang, H. (2019). Enhanced coagulation of low-turbidity micro-polluted surface water: Properties and optimization. *Journal of Environmental Management*, 233, 739-747. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.101>

Moral, A., Aguado, R., Mutjé, P., & Tijero, A. (2016). Papermaking potential of Citrus sinensis trimmings using organosolv pulping, chlorine-free bleaching and refining. *Journal of Cleaner Production*, 112, 980-986. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.008>

Morantes, D., Muñoz, E., Kam, D., & Shoseyov, O. (2019). Highly Charged Cellulose Nanocrystals Applied as A Water Treatment Flocculant. *Nanomaterials*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/nano9020272>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2017, mayo 10). *What is eutrophication?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/eutrophication.html>

Pang, Y., Wang, J., Li, S., & Ji, G. (2021). Long-term sulfide input enhances chemoautotrophic denitrification rather than DNRA in freshwater lake sediments. *Environmental Pollution*, 270, 116201. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116201>

Pinckney, J. L., Paerl, H. W., Tester, P., & Richardson, T. L. (2001). The role of nutrient loading and eutrophication in estuarine ecology. *Environmental Health Perspectives*, 109(suppl 5), 699-706. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s5699>

Porwal, H. J., Mane, A. V., & Velhal, S. G. (2015). Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Resources and Industry*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.11.002>

Rebello, S., Anoopkumar, A. N., Aneesh, E. M., Sindhu, R., Binod, P., & Pandey, A. (2020). Sustainability and life cycle assessments of lignocellulosic and algal pretreatments. *Bioresource Technology*, 301, 122678. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122678>

Ren, J., Li, N., Wei, H., Li, A., & Yang, H. (2020). Efficient removal of phosphorus from turbid water using chemical sedimentation by FeCl₃ in conjunction with a starch-based flocculant. *Water Research*, 170, 115361. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115361>

Renault, F., Sancey, B., Charles, J., Morin-Crini, N., Badot, P.-M., Winterton, P., & Crini, G. (2009). Chitosan flocculation of cardboard-mill secondary biological wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 775-783. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.023>

Suopajarvi, T., Liimatainen, H., Hormi, O., & Niinimäki, J. (2013). Coagulation–flocculation treatment of municipal wastewater based on anionized nanocelluloses. *Chemical Engineering Journal*, 231, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.010>

Tietz, T., Lenzner, A., Kolbaum, A. E., Zellmer, S., Riebeling, C., Gürtler, R., Jung, C., Kappenstein, O., Tentschert, J., Giubudagian, M., Merkel, S., Pirow, R., Lindtner, O., Tralau, T., Schäfer, B., Laux, P., Greiner, M., Lampen, A., Luch, A., ... Hensel, A. (2019). Aggregated aluminium exposure:

CONAMA 2024

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y MARINOS PARA SINTETIZAR FLOCULANTES NATURALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

Risk assessment for the general population. *Archives of Toxicology*, 93(12), 3503-3521. <https://doi.org/10.1007/s00204-019-02599-z>

Worku, L. A., Bachheti, A., Bachheti, R. K., Rodrigues Reis, C. E., & Chandel, A. K. (2023). Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication. *Membranes*, 13(2), 228. <https://doi.org/10.3390/membranes13020228>

Yadav, K., Vasistha, S., Nawkarkar, P., Kumar, S., & Rai, M. P. (2022). Algal biorefinery culminating multiple value-added products: Recent advances, emerging trends, opportunities, and challenges. *3 Biotech*, 12(10), 244. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03288-y>

Zahrim, A. Y., Azreen, I., Jie, S. S., Yoijing, C., Felijia, J., Hasmilah, H., Gloriana, C., & Khairunis, I. (2019). 11—Nanoparticles Enhanced Coagulation of Biologically Digested Leachate. En A. Ahsan & A. F. Ismail (Eds.), *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment* (pp. 205-241). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00011-3>

Zhou, Q., Sun, H., Jia, L., Wu, W., & Wang, J. (2022). Simultaneous biological removal of nitrogen and phosphorus from secondary effluent of wastewater treatment plants by advanced treatment: A review. *Chemosphere*, 296, 134054. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134054>

Zhou, Y., Xing, X.-H., Liu, Z., Cui, L., Yu, A., Feng, Q., & Yang, H. (2008). Enhanced coagulation of ferric chloride aided by tannic acid for phosphorus removal from wastewater. *Chemosphere*, 72(2), 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.02.028>