CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Revalorización de Residuos producto de la degradación del Ecosistema Submarino



REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS PRODUCTO DE LA DEGRADACIÓN DEL ECOSISTEMA SUBMARINO

Autor Principal: Ana Moral Rama (Universidad Pablo de Olavide)
Otros autores: Valeria Greyer Tobarcía (Universidad Pablo de Olavide); José Miguel Pérez Lombardo (Universidad Pablo de Olavide)

ÍNDICE

Título

1. Resumen 1

2. Antecedentes 1

4. Materiales y métodos 3

5. Resultados y discusión 3

6. Impacto medioambiental y social 4

7. Agradecimientos 5

8. Referencias 6

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS PRODUCTO DE LA DEGRADACIÓN DEL ECOSISTEMA SUBMARINO

RESUMEN

Los océanos constituyen el mayor ecosistema del mundo, albergan casi un millón de especies conocidas y presentan un enorme potencial científico por descubrir. en la actualidad, debido al calentamiento global, su temperatura está alcanzando niveles récord lo que genera olas de calor marinas generalizadas. Producto de actividades humanas como la pesca, que durante décadas ha explotado los recursos de forma irresponsable, el mar ha sufrido una alarmante degradación agravada por los plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, detergentes, hidrocarburos, aguas residuales, plásticos, etc. presentes en los vertidos y la escorrentía generados por explotaciones agrarias y ciudades costeras. Esta conjunción de factores afecta al ecosistema oceánico provocando un crecimiento masivo de macroalgas y plantas marinas que se acumulan en la costa convirtiéndose en residuos cuya degradación causa problemas sanitarios (aumento del número de insectos, nematodos y bacterias), medioambientales (emisión de gases tóxicos o de efecto invernadero) y económicos (descenso del turismo) por lo que es necesaria su retirada con los consiguientes costes asociados de gestión. una solución sostenible es convertir los residuos de macroalgas y plantas marinas en productos con valor añadido mediante extracción y reutilización de sus componentes.

ANTECEDENTES

Los océanos cubren más del 70% de la superficie del planeta y a través de sus interacciones con la atmósfera, la litosfera y la biosfera han desempeñado un papel esencial en la configuración de las condiciones que han hecho posible la vida en la Tierra. Además de servir de hábitat para un gran número de plantas y animales, los océanos abastecen también a las personas de alimentos, energía y recursos minerales. Durante eras los océanos han recibido materia natural disuelta y en suspensión de los continentes, las aguas subterráneas y los manantiales submarinos de origen volcánico. Los ríos han transportado toneladas de agua, materia disuelta y partículas sólidas en suspensión a los océanos, así como la atmósfera ha depositado en ellos gases y partículas. Con todo ello su volumen y composición han permanecido notablemente estacionarios por un periodo de tiempo geológicamente prolongado.

Las actividades humanas en tierra y en el mar están perturbando el equilibrio de los océanos al modificar la composición del agua (Amelia et al., 2021). Esto se manifiesta sobre todo en las

zonas costeras y cercanas al litoral, que son de las partes más intensivamente utilizadas del planeta. Las zonas costeras son lugares de desarrollo industrial a gran escala y un importante campo de actividades recreativas. Los puertos son núcleos esenciales de transporte y comercio nacional e internacional (Landrigan et al., 2020). Los vertidos y la escorrentía generados por explotaciones agrarias y ciudades costeras generan numerosos contaminantes que pasan al océano (plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, detergentes, hidrocarburos, aguas residuales, plásticos, etc.). Estos contaminantes junto con la pesca, que durante décadas ha explotado los recursos de forma irresponsable, ha provocado en el mar una alarmante degradación.

Debido al cambio climático los océanos están alcanzando niveles récord de temperatura lo que provoca olas de calor marinas generalizadas (Findlay & Turley, 2021). Este aumento de temperatura junto con el impacto negativo de las actividades humanas provoca la floración algal o crecimiento desmesurado de microalgas, macroalgas y plantas marinas (Dawes, 1998). El proceso de suministro excesivo de nutrientes producido por la contaminación por fertilizantes que participa en este crecimiento se denomina eutrofización (Hodgkin & Hamilton, 1993).

Las consecuencias de la floración algal en el océano van desde bloquear la luz solar, provocar el agotamiento de los niveles de oxígeno y, según las especies, secretar toxinas (Norton et al., 1996). La consecuencia en las costas es la acumulación masiva de macroalgas y/o plantas marinas que se convierten en residuos cuya degradación causa problemas sanitarios (aumento del número de insectos, nematodos y bacterias), medioambientales (emisión de gases tóxicos o de efecto invernadero) y económicos (descenso del turismo) por lo que es necesaria su retirada con los consiguientes costes asociados de gestión (Harb & Chow, 2022).

Una solución sostenible es convertir los residuos de macroalgas y plantas marinas en productos con valor añadido. La revalorización de los residuos de biomasa marina como fuente de energía presenta inconvenientes asociados a su elevada cantidad de agua, bajo poder calorífico, alto contenido de compuestos inorgánicos, inestabilidad térmica y acidez (Kostas et al., 2021; Kulikova et al., 2022; Rebello et al., 2020). Su revalorización como fuente de productos químicos y materiales no presenta los inconvenientes asociados al uso como fuente de energía, puesto que se requieren volúmenes menores (Gabriel et al., 2020; Vadrevu & Lasko, 2018).

Entre los materiales que componen los residuos de marea y las plantas marinas se encuentra la celulosa cuya estructura y propiedades son similares a las especies terrestres, tanto a nivel molecular (lineal, constituida por D-glucosa, enlaces β-1,4) como supramolecular (celulosa I) (Baghel et al., 2021). La lignificación es el resultado de la evolución de especies marinas a terrestres para dar consistencia a los tallos herbáceos y leñosos (Adler, 1957) por lo que el contenido en lignina (polímero estable que causa problemas técnicos en la industria) de las algas y fanerógamas marinas es bajo (Peter & Neale, 2004). El uso de residuos de algas y fanerógamas marinas como fuente de celulosa introduciría un nuevo material celulósico (Duchesne & Larson, 1989) reduciendo los monocultivos y la deforestación (Finer et al., 2018) a la vez que su bajo contenido en lignina permitiría utilizar tecnologías limpias para la extracción de celulosa (Jiménez et al., 2008). A pesar de las numerosas ventajas, existen escasos estudios sobre la revalorización de los residuos de biomasa marina como fuente de materiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y acondicionamiento

Para evaluar la revalorización de residuos producto de la degradación del ecosistema submarino como material celulósico se recolectan algas y plantas marinas acumuladas en las costas andaluzas siguiendo las normas estatales del artículo 57 de la Ley del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (42/2007, del 13 de diciembre) y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Real Decreto Español 139/2011 del 4 de febrero) (Jefatura del Estado,2007; Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2011).

Los residuos se trasladan al laboratorio, se lavan tres veces (mínimo) con agua dulce, se escurren en malla y se secan a temperatura ambiente para asegurar el mínimo crecimiento de microorganismos y evitar su degradación.

Identificación de especies

Con los residuos lavados y secos se realiza una primera inspección visual para separar las distintas especies y, posteriormente, con la ayuda de material fotográfico y bibliográfico, proceder a su identificación.

Preparación de muestras y caracterización

Evaluar los residuos de algas y fanerógamas marinas como fuente de celulosa implica comparar con otros materiales lignocelulósicos o con valores de referencia. Al no existir estudios sobre caracterización química de residuos de marea para uso como materiales se siguen los estándares de La Asociación Técnica de la Industria del Papel y la Pulpa (TAPPI) para la caracterización química de materiales lignocelulósicos (material maderero, residuos forestales y residuos agrícolas). La preparación de muestras se realiza según la norma T APPI T257 cm-02 (TAPPI T257, 2021) utilizándose un molino de bolas Micro Ball Mill GT300 (POWTEQ). El contenido de celulosa se determina según el método de Wise *et al.* (Hubbell & Ragauskas, 2010) para materias primas lignocelulósicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de especies

En los residuos de marea recolectados se encontraron diversas especies de algas y fanerógamas marinas. Las algas se identificaron como *Cladophora sp*., *Enteromorpha sp*. y *Ulva sp*. pertenecientes al grupo de las Chlorophyta (algas verdes) así como *Dictyota dichotoma* y

Sargassum tenerrimum pertenecientes al grupo *Phaeophyceae* (algas pardas). Las fanerógamas marinas encontradas se identificaron como las especies *Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica* y *Zostera sp.*

Caracterización

El contenido en celulosa para cada una de las especies se muestra en la **Tabla 1**. Una proporción de celulosa superior al 30% es un indicador de que la muestra se puede considerar como material celulósico (Agu et al., 2014). A la vista de los resultados se puede afirmar que los residuos pertenecientes al grupo Chlorophyta y los de fanerógamas marinas se pueden considerar materiales celulósicos, sin embargo, las especies del grupo Phaeophyceae, con contenidos en celulosa en torno al 15 y 20 % no se pueden considerar. Además, las especies acuáticas fotosintéticas como las fanerógamas marinas contienen otros materiales fibrosos que son potencialmente beneficiosos para la producción de papel (Kuo & Den Hartog, 2001).

Tabla 1. Contenido en celulosa de las distintas especies presentes en los residuos de marea

Chlorophyta	Celulosa (%)
Cladophora sp	30,91
Enteromorpha sp.	50,46
Ulva sp.	47,80
Phaeophyceae	**Celulosa (%)**
Dictyota dichotoma	19,35
Sargassum tenerrimum	15,46
Fanerógamas marinas	**Celulosa (%)**
Cymodocea nodosa	54,44
Posidonia oceanica	59,45
Zostera sp	43,16

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL

Medioambiente

- La deposición masiva de algas y fanerógamas marinas en las costas emiten gases tóxicos o de efecto invernadero generando contaminación ambiental.
- La reutilización de residuos de marea como fuente de celulosa introduce un nuevo material celulósico reduciendo los monocultivos y la deforestación, factores de influencia en el cambio climático.
- El documento de referencia de la Industria Papelera en la U.E. en cumplimiento de la

Directiva 2008/1/CE establece las condiciones que han de cumplir los procesos de extracción de celulosa para que sean considerados como Mejores Técnicas Disponibles (MTD). El bajo contenido en lignina de las algas y fanerógamas marinas hace posible la extracción de celulosa mediante tecnologías limpias o MTD.

- La aplicación de procesos industriales menos contaminantes permite afrontar los relevantes desafíos ligados al cambio climático.

Sociedad

- La deposición masiva de algas y fanerógamas marinas en las costas genera residuos que aumentan el número de insectos, nematodos y bacterias causando problemas sanitarios.
- La acumulación de residuos de algas y fanerógamas marinas en las costas provoca descenso del turismo y genera gastos de gestión de residuos causando problemas económicos en la zona afectada.
- La revalorización de los residuos de marea evita que tanto la economía como el desarrollo de las regiones afectadas se vean limitados, creando una oportunidad de ser incluidos en un ciclo de economía circular y generando un impacto social positivo.
- El empleo de tecnologías limpias permite desarrollar pequeñas producciones industriales que se pueden implantar en zonas económicamente deprimidas para su recuperación.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación ha sido financiada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad, de la Junta de Andalucía, en marco del programa operativo FEDER Andalucía 2014-2020. Objetivo específico 1.2.3. «Fomento y generación de conocimiento frontera y de conocimiento orientado a los retos de la sociedad, desarrollo de tecnologías emergentes») en marco del proyecto de investigación de referencia UPO-1381 251. Porcentaje de cofinanciación FEDER 80%.

REFERENCIAS

Adler, E. (1957). Structural elements of lignin. Industrial & Engineering Chemistry, 49(9), 1377-1383. https://doi.org/10.1021/ie50573a031

Agu, C. V., Njoku, O. U., Chilaka, F. C., Agbiogwu, D., Iloabuchi, K. V., & Ukazu, B. (2014). Physicochemical properties of lignocellulosic biofibres from South Eastern Nigeria: their suitability for biocomposite technology. *African Journal of Biotechnology*, *13*(20), 2050-2057. https://doi.org/10.5897/AJB2013.13443

Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., & Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. Progress in Earth and Planetary Science, 8, 1-26. https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4

Baghel, R. S., Reddy, C. R. K., & Singh, R. P. (2021). Seaweed-based cellulose: Applications, and future perspectives. *Carbohydrate Polymers*, *267*, 118241. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118241

Dawes, C. J. (1998). Marine botany. John Wiley & Sons.

Duchesne, L. C., & Larson, D. W. (1989). Cellulose and the evolution of plant life. Bioscience, 39(4), 238-241. https://doi.org/10.2307/1311160

Findlay, H. S., & Turley, C. (2021). Ocean acidification and climate change. In Climate change (pp. 251-279). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00013-X

Finer, M., Novoa, S., Weisse, M. J., Petersen, R., Mascaro, J., Souto, T., ... & Martinez, R. G. (2018). Combating deforestation: From satellite to intervention. Science, 360(6395), 1303-1305. https://doi.org/10.1126/science.aat1203

Gabriel, T., Belete, A., Syrowatka, F., Neubert, R. H., & Gebre-Mariam, T. (2020). Extraction and characterization of celluloses from various plant byproducts. *International journal of biological macromolecules*, *158*, 1248-1258. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.264

Harb, T. B., & Chow, F. (2022). An overview of beach-cast seaweeds: Potential and opportunities for the valorization of underused waste biomass. Algal Research, 62, 102643. https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102643

Hodgkin, E. P., & Hamilton, B. H. (1993). Fertilizers and eutrophication in southwestern Australia: setting the scene. *Fertilizer Research*, *36*, 95-103. https://doi.org/10.1007/BF00747579

Hubbell, C. A., & Ragauskas, A. J. (2010). Effect of acid-chlorite delignification on cellulose degree of polymerization. *Bioresource technology*, *101*(19), 7410-7415. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.029

Jiménez, L., Rodríguez, A., Pérez, A., Moral, A., & Serrano, L. (2008). Alternative raw materials and pulping process using clean technologies. Industrial crops and products, 28(1), 11-16. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.12.005

Landrigan, P. J., Stegeman, J. J., Fleming, L. E., Allemand, D., Anderson, D. M., Backer, L. C., ... & Rampal, P. (2020). Human health and ocean pollution. Annals of global health, 86(1), 151. https://doi.org/10.5334/aogh.2831

Norton, T. A., Melkonian, M., & Andersen, R. A. (1996). Algal biodiversity. Phycologia, 35(4), 308-326. https://doi.org/10.2216/i0031-8884-35-4-308.1

Kostas, E. T., Adams, J. 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), 569. https://doi.org/10.3390/app12020569

Kuo, J., & Den Hartog, C. (2001). Seagrass taxonomy and identification key. *Global seagrass research methods*, *33*, 31-58.

Peter, G., & Neale, D. (2004). Molecular basis for the evolution of xylem lignification. Current Opinion in Plant Biology, 7(6), 737-742. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.09.002

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

TAPPI T257 cm-02, *Sampling and preparing wood for analysis*. T. Press, 2012.

Vadrevu, K., & Lasko, K. (2018). Intercomparison of MODIS AQUA and VIIRS I-Band fires and emissions in an agricultural landscape—Implications for air pollution research. Remote Sensing, 10(7), 978. https://doi.org/10.3390/rs10070978