

Bioeconomía: integración de la gestión de desechos y el control de malezas con la generación de bioenergía

Yessica Castro Estévez

Integrar el control de especies exóticas invasivas con la generación de productos valiosos es un enfoque que contribuye a la sostenibilidad de las actividades de protección ambiental en los países en desarrollo. República Dominicana tiene dos problemas que afectan las fuentes fluviales y las zonas costeras del país: el jacinto de agua en los ríos Ozama e Isabela, así como otros que están en condiciones eutróficas en el país; y la llegada del sargazo pelágico a las playas dominicanas. Ambos afectan el turismo y la economía del país; también afectan la biodiversidad y la salud de los habitantes de las áreas afectadas. Una solución sostenible para situaciones de ese tipo requiere un trabajo multidisciplinario que integre las ciencias naturales (i.e. ambiental, química y biología) con las ciencias económicas y las ingenierías, y que se consideren las tendencias globales de relevancia para la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático, como es la bioeconomía.

Pasar de una economía basada en fósiles a la bioeconomía

Desde la revolución industrial, los combustibles fósiles han sido fundamentales para el suministro energético de las sociedades modernas. Sin embargo, se espera que el aumento de la demanda mundial de energía, desencadenada por la creciente prosperidad de las economías en desarrollo de rápido crecimiento, cause estrés en esas fuentes

convencionales y promueva el crecimiento de las renovables para el 2040 (BP p.l.c., 2019). Como enfoque preventivo, Europa ha adoptado estrategias para la aplicación de la bioeconomía; y según la Comisión Europea: “La Bioeconomía es la respuesta de Europa a los desafíos ambientales clave que el mundo ya enfrenta hoy. Su objetivo es reducir la dependencia de los recursos naturales, transformar la fabricación, promover la producción sostenible de recursos renovables de la tierra, la pesca y la acuicultura y su conversión en alimentos para consumo humano y animal, fibras, bioproductos y bioenergía; al mismo tiempo, que genera nuevos puestos de trabajo e industrias. La transición efectiva de una economía basada en combustibles fósiles a una basada en biotecnología requiere acciones comunitarias relacionadas con el desarrollo del mercado, la tecnología, la investigación, la ciencia y las políticas” (Vandermeulen et al., 2012). La implementación de los principios de bioeconomía podría contribuir a la sostenibilidad de los países en desarrollo, como República Dominicana, pero requiere el apoyo de la comunidad científica.

El crecimiento demográfico, el cambio climático, la reducción de residuos, la energía y la seguridad alimentaria son algunos de los factores que desencadenan la aplicación de una bioeconomía. Se espera que la población mundial crezca de siete mil a nueve mil millones para el 2050. Eso



aumentaría las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la energía eléctrica y la demanda de alimentos (Lewandowski, 2017). Desde 1750 la quema de combustibles fósiles, la deforestación y las emisiones del suelo han provocado un aumento de las concentraciones atmosféricas de los principales GEI, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) en un 40 %, 150% y 20%, respectivamente (ICCP, 2014). La creciente concentración atmosférica de GEI que conduce al calentamiento global podría mitigarse mediante el uso de recursos biológicos, en lugar de fósiles. Por ejemplo, la utilización de desechos agrícolas para la producción de biocombustibles y productos químicos no solo brinda reducción en los GEI al reducir las emisiones derivadas de su disposición final (e.g. vertederos o rellenos sanitarios), sino también sostenibilidad y seguridad alimentaria al generar productos de valor a partir de biomásas que no requieren de recursos utilizados para la producción agrícola (Bennich & Belyazid, 2018; Lewandowski, 2017; Lokesh et al., 2018).

Materia prima para producción de bioproductos

La selección de la materia prima adecuada determina la sostenibilidad de la bioeconomía. Los factores más importantes que se deben considerar durante la selección de materias primas para la producción de bioproductos son la composición, el rendimiento y la sostenibilidad de la biomasa (Agblevor y Pereira, 2013). Sobre esa base, esta materia prima se clasifica como de primera generación, que la constituyen los cultivos o granos que sirven para consumo humano, como la soya y el maíz; de segunda, como son los residuos agrícolas o cultivos energéticos; y de tercera, algas marinas (Allen et al., 2016; Gerbens-Leenes, 2017). La materia prima de primera generación tiene una estructura química que permite un procesamiento

más fácil; sin embargo, compete con la producción de alimentos para el consumo humano y animal, lo que conduce a una baja sostenibilidad. Por lo tanto, las materias primas de segunda y tercera generación son las más deseables para el desarrollo de la bioeconomía. Entre las materias primas de segunda generación, los cultivos energéticos tienen una mayor huella hídrica (m³/GJ) que los residuos de agricultura (Gerbens-Leenes, 2017); por lo tanto, la biomasa residual, los cultivos energéticos invasivos que crecen en condiciones de escasez o las plantas acuáticas que pueden crecer en las aguas residuales, son ideales.

Jacinto de agua y su transformación en bioproductos

El jacinto de agua o lila acuática (*Pontederia crassipes* Mart.), anteriormente conocida como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, es una planta acuática perenne de floración flotante originaria de la cuenca del río Amazonas y presente en áreas tropicales y subtropicales del mundo. Cuando las fuentes hídricas como los ríos y lagos son invadidas por esa macrófita, hay cambios en la química del agua, reducción en la penetración de oxígeno disuelto, aumento en la evapotranspiración y alteración de la flora (Hossain et al., 2015). El jacinto de agua se considera una materia prima apropiada para la bioeconomía debido a su alta tasa de crecimiento y fácil cultivo, con mínimo de recursos que no compiten con los requeridos para la producción de alimentos para el consumo humano y animal. La productividad del jacinto de agua es de hasta 100-200 Ton/ha/año (Duke, 1983). Además, el jacinto de agua se puede cultivar bajo condiciones de estrés, incluidas temperaturas tan bajas como 14° C, y agua con una salinidad de hasta 2 % y un contenido de nutrientes (N, P) muy alto o limitado (Wilson et al., 2001). Asimismo, el jacinto



de agua se ha utilizado con éxito en el tratamiento de aguas residuales municipales y agrícolas para la eliminación de algas, bacterias coliformes fecales, partículas en suspensión, trazas de metales tóxicos, compuestos orgánicos y otras impurezas (Gupta, 1980). La lila acuática es una biomasa prometedora para los procesos biotecnológicos de segunda generación.

En áreas geográficas donde está presente el jacinto de agua, esta biomasa se ha utilizado para satisfacer necesidades sociales como alimentación, calor, transporte y productos químicos mediante procesamiento físico y bioquímico. Se ha reportado el uso del jacinto de agua para la producción de papel, fertilizantes, alimentos para animales, compostaje, bioetanol, biogás y muebles (Rezania et al., 2015). La fibra del jacinto de agua se ha evaluado para su posible uso en la industria textil (Bhuvaneshwari y Sangeetha, 2016). Las raíces del jacinto de agua se han utilizado como matriz para inmovilizar el oxihidróxido de hierro (FeOOH) para la adsorción de arsénico (Lin et al., 2018). De manera similar, gránulos de jacinto de agua inmovilizados con *Chlorella* sp. se utilizaron para la biorremediación de cadmio (Shen et al., 2018). La carboximetilcelulosa del jacinto de agua se ha utilizado como material aglutinante para electrodos de baterías de iones de litio (Hidayat et al., 2018). Algunos de los productos de valor agregado que se han obtenido experimentalmente del jacinto de agua incluyen enzimas (es decir, celulasa, β -glucosidasa y xilanasas), así como ácidos orgánicos como el ácido levulínico y el ácido shikímico (Sindhu et al., 2017). Además, se aislaron, purificaron e identificaron dos péptidos antioxidantes de hidrolizados de proteína de hoja de jacinto de agua para su uso potencial como suplementos de la dieta humana (Zhang et al., 2018). El jacinto de agua es una biomasa apropiada para la producción de

biogás debido a su alto contenido de nitrógeno y su relación C/N de alrededor de 15 (Koutika y Rainey, 2015). Se estima que la digestión anaeróbica de la mezcla de jacinto de agua y estiércol de vaca (4:1) produce 370 L de biogás por kg de biomasa seca (Rezania et al., 2015). También se ha llevado a cabo la fermentación anaeróbica del jacinto de agua utilizando *Clostridium diolis* y *Clostridium beijerinckii* para la producción de biohidrógeno y biobutanol, respectivamente (Deka et al., 2018).

Conversión termoquímica del jacinto de agua en biocombustibles

La combustión y el procesamiento termoquímico, como el pirólisis y la gasificación, son algunas de las aplicaciones que se han llevado a cabo utilizando jacinto de agua como materia prima. Estudios muestran que por pirólisis lenta del jacinto de agua se puede producir 24.6 wt. % de aceites (Biswas et al., 2017). La pirólisis de jacinto de agua fresco, putrefacto y tratado con microbios produjo 34.3 %, 58.3 % y 43.2 % de aceite altamente mejorado, respectivamente. (Hussain et al., 2017). Asimismo, el jacinto de agua se ha utilizado para la producción de briquetas de carbón para combustión en comunidades de Tailandia (Suttibak y Loengbudnark, 2018).

Sin embargo, la viabilidad económica del uso de jacinto de agua para procesos termoquímicos es cuestionable debido a la gran cantidad de energía que requiere, no solo para la conversión de esa biomasa sino también para su previo acondicionamiento. La evaluación de sostenibilidad del jacinto de agua para pirólisis rápida mostró que el secado y la molienda son pasos necesarios para esta aplicación, debido al contenido de humedad muy alto (es decir, 92.2 ± 3.5 %) y el bajo poder calorífico (i.e. 14.1 MJ/kg) de la planta en condiciones frescas (Buller et al., 2015). Además, los estudios

demonstraron que la descomposición de la celulosa en el jacinto de agua a temperaturas inferiores a 280° C no era posible en condiciones pirolíticas, pero se lograba mediante tratamiento hidrotérmico (Luo et al., 2011). A pesar de los estudios de conversión termoquímica del jacinto de agua que se han llevado a cabo experimentalmente, otras rutas más viables económicamente se deben evaluar para obtener productos valiosos a partir de esta materia prima.

El uso de biomasa residual para la producción de bioproductos es una alternativa que contribuye a la transición de una economía basada en combustibles fósiles, a una bioeconomía.

Biometanización de jacinto de agua del río Ozama

En República Dominicana el turismo es una de las actividades económica más importante (Pozo et al., 2013). Los ríos afluentes Ozama e Isabela, ubicados en Santo Domingo, la capital del país, son afectados por el jacinto de agua debido a los altos niveles de eutrofización que experimentan, esa situación es agravada por la descomposición de la biomasa de esa planta (Salas y Martino, 1988). Esa condición es socioeconómicamente perjudicial para Santo Domingo, por el mal olor resultante y la imposibilidad de utilizar esos cuerpos de agua para actividades urbanas, recreativas y agrícolas. Las principales áreas de los ríos afectados por la presencia de jacinto de agua en Santo Domingo se destacan en la Figura 1. Además del jacinto de agua, Pontederia Azurea conocida como lila acuática, se identificó con una densidad más baja en algunos de los puntos de muestreo (i.e. El Naranjo). La gestión para recolección mecánica de jacinto de

agua realizada periódicamente se inició hace unos años en las áreas con mayor densidad poblacional afectadas por esa planta invasiva dentro de los ríos Ozama e Isabela (Gavilán, 2018). El uso de la biomasa residual para la producción de bioproductos es una alternativa que podría contribuir a la transición de una economía basada en combustibles fósiles a la bioeconomía en República Dominicana.

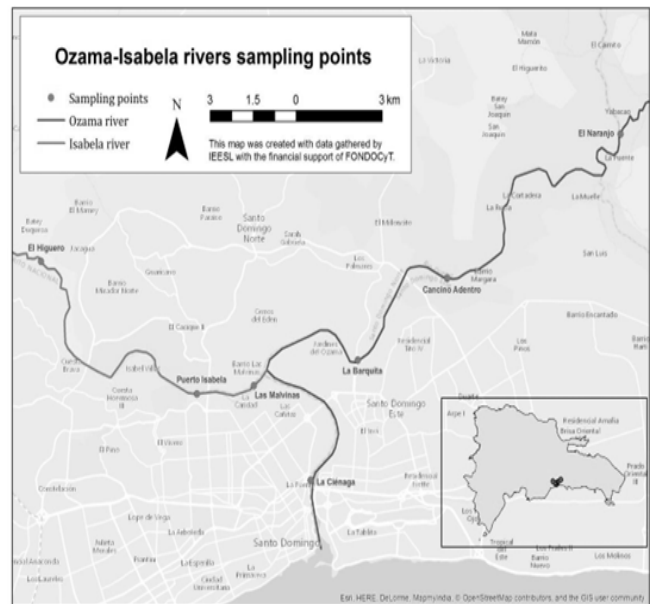


Figura 1. Mapa de los ríos Ozama e Isabela en la provincia Santo Domingo. Los puntos marcados corresponden a zonas identificadas con varamientos de sargazo. Fuente: Castro, 2021.

El uso del jacinto de agua de los ríos Ozama e Isabela para la producción de bioenergía podría mitigar los costos asociados con la cosecha de malezas y aumentar la sostenibilidad de ese proceso. Sus plantas acuáticas se consideran materias primas prometedoras para la digestión anaeróbica, debido a su alto contenido de agua y materia orgánica altamente digerible (Wellinger et al., 2013). La digestión anaeróbica es un proceso en el que cientos de miles de especies microbianas convierten materia orgánica compleja en biogás (CH₄ y CO₂) mediante hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y

metanogénesis (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991; Wellinger et al., 2013). La factibilidad de la digestión anaeróbica del jacinto de agua como práctica posterior al manejo de malezas en el río Ozama se ha explorado previamente (Castro y Agblevor, 2020). Se estimó que el potencial de producción de metano, a partir de la digestión anaeróbica del jacinto de agua del río Ozama, genera 846.5 MJ de energía por tonelada de biomasa fresca.

Los países en desarrollo que integran prácticas de control de malezas para la producción con base en biotecnología, contribuyen a la preservación sostenible del medioambiente.

Según estudios de otros autores sobre la cosecha mecánica, se consideró que solo se necesitarían 57.9 MJ para cosechar una tonelada de jacinto de agua del río Ozama (Castro y Agblevor, 2020). Esos resultados sugieren que la biometanización del jacinto de agua podría ayudar a mitigar los costos asociados a su control, con el uso del metano generado como combustible para las máquinas recolectoras. Se deben considerar otros costos para mantener la viabilidad del proceso, como la reducción de tamaño de partícula y la mano de obra. Además, la limpieza del biogás antes de su uso es un factor importante para considerar, si el objetivo es utilizarlo en máquinas cosechadoras o como un incentivo para quienes viven en los alrededores y desean colaborar con la cosecha manual. Ese enfoque reduciría los costos asociados con la cosecha mecánica, incluida la inversión inicial para adquirir el equipo de cosecha. Asimismo, la codigestión del jacinto de agua con otros desechos disponibles cerca de las áreas afectadas por el río Ozama

podría considerarse en un futuro cercano, para reducir la basura y producir energía a partir de ella.

Recoger el sargazo antes de que llegue a las playas minimiza el impacto ambiental que produce la descomposición de esa macroalga.

Utilización del sargazo y desechos alimentarios para la producción de biogás

En República Dominicana la contaminación ambiental por la presencia de sargazo en las playas no solo compromete el bienestar de los ecosistemas, sino que también afecta una de las principales actividades económicas del país: el turismo. La recogida del sargazo antes de su llegada a las playas minimiza el impacto ambiental debido a las emisiones de ácido sulfhídrico (H₂S) y amoníaco (NH₃) por la descomposición de esa macroalga. Por lo tanto, es importante la recolección del sargazo y su utilización para la generación de productos de valor comercial, para mitigar los costos asociados al control de esa maleza. Por esa razón, la Universidad APEC (Unapec) trabaja en la codigestión anaeróbica del sargazo con desechos orgánicos que son relevantes en las zonas afectadas para la producción de biogás. Se han realizado estudios preliminares en biodigestores de 1200 L, con el uso de estiércol de vaca y sargazo generados en las zonas turísticas del país para la generación de biogás (Colombo y Cuevas Rodríguez, 2020).

Es importante recolectar el sargazo y utilizarlo en la generación de productos de valor comercial, para mitigar los costos asociados al control de esa maleza.





Figura 2. Biodigestores Home biogás 1.0 tipo bolsa, utilizados para las pruebas experimentales y sargazo en proceso de secado. Fuente: Unapec

Asimismo, con el apoyo de la Fundación Grupo Puntacana Unapec trabaja en la co-digestión anaeróbica del sargazo con los desechos orgánicos provenientes de cocina para integrar los esfuerzos en el manejo del sargazo con la problemática de los residuos alimentarios, lo que es común en esa zona. Se han realizado pruebas experimentales con el propósito de determinar los porcentajes de

sargazo y desechos orgánicos provenientes de los restaurantes de Punta Cana que generen la mayor cantidad de biogás (figura 2). Por otro lado, se procura comprobar el efecto de las temperaturas de incubación en el desempeño de la digestión anaeróbica del sargazo y los desechos orgánicos de cocina. Se planea utilizar el biogás generado como combustible en las cocinas de los hoteles, para la cogeneración de calor y electricidad. Se espera que los resultados de este proyecto contribuyan con la sostenibilidad en el control del sargazo en las zonas costeras y con el incremento en la calidad de vida de los habitantes de zonas afectadas por varamiento de esa alga.

La Universidad APEC trabaja en la codigestión anaeróbica del sargazo con desechos orgánicos relevantes, para la producción de biogás.

Conclusión

La integración de prácticas de control de malezas con la generación de productos valiosos es un enfoque que contribuye a la sostenibilidad de las actividades de protección ambiental en los países en desarrollo. La biometanización del jacinto de agua como práctica posterior al control de esta planta acuática en los ríos Ozama e Isabela, el aprovechamiento de la llegada del sargazo y la generación de residuos alimentarios en las zonas turísticas del país para la generación de biomasa, constituyen un paso importante en la sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, la integración de sociedad y el sector empresarial es de vital importancia para fomentar esos modelos económicos en nuestro país.



Referencias

- Agblevor, F. A., & Pereira, J. (2013). Progress in the summative analysis of biomass feedstocks for biofuel production. In C. Wyman (Ed.), *Aqueous pretreatment of plant biomass for biological and chemical conversion to fuels and chemicals* (pp. 335–354). <https://doi.org/doi:10.1002/9780470975831.ch16>
- Allen, E., Wall, D. M., Herrmann, C., & Murphy, J. D. (2016). A detailed assessment of resource of biomethane from first, second and third generation substrates. *Renewable Energy*, 87, 656–665. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.060>
- Bennich, T., & Belyazid, S. (2018). Understanding the Transition to a Bio-Based Economy : Exploring Dynamics Linked to the Agricultural Sector in Sweden. *Sustainability*, 10(1504), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su10051504>
- Bhuvaneshwari, M., & Sangeetha, K. (2016). Investigation of Physical , Chemical and Structural Characterization of Eichhornia crassipes Fiber. 01(International Conference on Information Engineering, Management and Security 2016 [ICIEMS]), 92–96.
- Biswas, B., Singh, R., Krishna, B. B., Kumar, J., & Bhaskar, T. (2017). Pyrolysis of azolla, sargassum tenermum and water hyacinth for production of bio-oil. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.044>
- BP p.l.c. (2019). BP Energy Outlook 2019. In BP Energy Outlook 2019. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>
- Buller, L. S., Ortega, E., Bergier, I., Mesa-Pérez, J. M., Salis, S. M., & Luengo, C. A. (2015). Sustainability assessment of water hyacinth fast pyrolysis in the Upper Paraguay River basin, Brazil. *Science of the Total Environment*, 532, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.129>
- Castro, Y. A., & Agblevor, F. A. (2020). Biomethanation of invasive water hyacinth from eutrophic waters as a post weed management practice in the Dominican Republic, a developing country. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 14138–14149. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07927-w>
- Colombo, C. V., & Cuevas Rodriguez, A. (2020). Generación de biogás a partir de diferentes residuos orgánicos: estudio de casos de Biorremediación y desarrollo de comunidades en Argentina y República Dominicana. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/laccei2020.1.1.211>
- Deka, D., Das, S. P., Ravindran, R., Jawed, M., & Goyal, A. (2018). Water Hyacinth as a Potential Source of Biofuel for Sustainable Development. In K. S. Sarma A., Singh V., Bhattacharjya R. (Ed.), *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change* (pp. 351–363). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74494-0_27
- Duke, J. A. (1983). *Handbook of Energy Crops*. Purdue University. Center for New Crops and Plant Products.
- Gavilán, H. (2018, July 25). Inician recogida de basura en el Ozama con barcos especiales. *Listín Diario*. <https://listindiario.com/la-republica/2018/07/25/525678/inician-recogida-de-basura-en-el-ozama-con-barcos-especiales>
- Gerbens-Leenes, P. W. (2017). Bioenergy water footprints, comparing first, second and third generation feedstocks for bioenergy supply in 2040. *European Water*, 59, 373–380. <https://www.rug.nl/research/portal/publications/bioenergy-wa>

ter-footprints-comparing-first-second-and-third-generation-feedstocks-for-bioenergy-supply-in-2040(75612783-db73-4957-8f0f-8fef9858182e)/export.html

Gupta, G. C. (1980). Use of Water Hyacinths in Wastewater Treatment (A Brief Literature Review). *Journal of Environmental Health*, 43(2), 80–82. <http://www.jstor.org/stable/44537520>

Hidayat, S., Susanty, S., Riveli, N., Suroto, B. J., & Rahayu, I. (2018). Synthesis and characterization of CMC from water hyacinth for lithium-ion battery applications. *AIP Conference Proceedings*, 1927. <https://doi.org/10.1063/1.5021216>

Hossain, E., Sikder, H., Kabir, H., & Sarma, S. M. (2015). Nutritive value of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Online Journal of Animal and Feed Research*.

Hussain, Z., Bashir, N., Khan, M. I., Hussain, K., Sulaiman, S. A., Naz, M. Y., Ibrahim, K. A., & AbdEl-Salam, N. M. (2017). Production of highly upgraded bio-oils through two-step catalytic pyrolysis of water hyacinth. *Energy & Fuels*. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01252>

ICCP. (2014). *Climate Change Synthesis Report*. In *lppc*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

Koutika, L. S., & Rainey, H. J. (2015). A review of the invasive, biological, and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta*. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(1), 263–275. http://www.researchgate.net/profile/Lydie-Stella_Koutika/publication/265049795_A_REVIEW_OF_THE_INVASIVE_BIOLOGICAL_AND_BENEFICIAL_CHARACTERISTICS_OF_AQUATIC_SPECIES_EICHHORNIA_CRASSIPES_AND_SALVINIA_MOLESTA/links/53fde61b0cf22f21c2f8609d.pdf

Lewandowski, I. (2017). Bioeconomy. In N. Gaudet, J. Lask, J. Maier, B. Tchouga, & R. Vargas-Carpintero (Eds.), *Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_7

Lin, S., Yang, H., Na, Z., & Lin, K. (2018). A novel biodegradable arsenic adsorbent by immobilization of iron oxyhydroxide (FeOOH) on the root powder of long-root *Eichhornia crassipes*. *Chemosphere*, 192, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.163>

Lokesh, K., Ladu, L., & Summerton, L. (2018). Bridging the Gaps for a ‘Circular’ Bioeconomy : Selection Criteria , Bio-Based Value Chain and Stakeholder Mapping. *Sustainability*, 10(1695), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su10061695>

Luo, G., James Strong, P., Wang, H., Ni, W., & Shi, W. (2011). Kinetics of the pyrolytic and hydrothermal decomposition of water hyacinth. *Bioresourc e Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.048>

Pavlostathis, S. G., & Giraldo-Gomez, E. (1991). Kinetics of anaerobic treatment. *Water Science and Technology*, 24(8), 35–59. <https://doi.org/10.2166/wst.1991.0217>

Pozo, S., Sánchez-Fung, J. R., & Santos-Paulino, A. U. (2013). Economic Development Strategies in the Dominican Republic. In A. K. Fosu (Ed.), *Achieving Development Success: Strategies and Lessons from the Developing World* (pp. 384–404). OUP Oxford. <https://books.google.com/books?id=FVtoAgAAQ-BAJ>

Rezania, S., Ponraj, M., Din, M. F. M., Songip, A. R., Sairan, F. M., & Chelliapan, S. (2015). The diverse applications of water hyacinth with main focus on sustainable energy and production for new era:



An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 943–954. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.006>

Salas, H., & Martino, P. (1988). Evaluación y control de la contaminación de las aguas superficiales en la vecindad de Santo Domingo. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/04836/04836.pdf>

Shen, Y., Zhu, W., Li, H., Ho, S. H., Chen, J., Xie, Y., & Shi, X. (2018). Enhancing cadmium bioremediation by a complex of water-hyacinth derived pellets immobilized with *Chlorella* sp. *Bioresource Technology*, 257(February), 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.060>

Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Madhavan, A., Alphonsa, J. A., Vivek, N., Gnansounou, E., Castro, E., & Faraco, V. (2017). Water hyacinth a potential source for value addition: An overview. *Bioresource Technology*, 230, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.035>

Suttibak, S., & Loengbudnark, W. (2018). Production of charcoal briquettes from biomass for community use. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 297(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/297/1/012001>

Vandermeulen, V., Van der Steen, M., Stevens, C. V., & Van Huylenbroeck, G. (2012). Industry expectations regarding the transition toward a biobased economy. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(4), 453–464. <https://doi.org/10.1002/bbb.1333>

Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D. (2013). *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications* (1st ed.). Woodhead Publishing.

Wilson, J. R., Rees, M., Holst, N., Thomas, M. B., & Hill, G. (2001). Water Hyacinth Population Dynamics. *Proceedings of ACIAR on Biological and*

Integrated Control for Water Hyacinth Eichhornia Crassipes, 102, 96–104.

Zhang, Y., Shen, Y., Zhang, H., Wang, L., Zhang, H., Qian, H., & Qi, X. (2018). Isolation, purification and identification of two antioxidant peptides from water hyacinth leaf protein hydrolysates (WHLPH). *European Food Research and Technology*, 244(1), 83–96. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2941-z>

Yessica Castro Estévez

Ingeniera Industrial egresada de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), con maestría y doctorado en Ingeniería Biológica de la Universidad Estatal de Utah, Estados Unidos. Experiencia en investigación de procesos biológicos de transformación de desechos y biomasa en bioenergía y productos valiosos. Ha trabajado en proyectos de investigación para la producción de acetona, butanol y etanol (ABE), a partir de la fermentación anaeróbica de las microalgas provenientes de aguas residuales municipales de la ciudad de Logan, UT, USA; la producción de biogás a partir de lilas acuáticas provenientes del río Ozama, Santo Domingo; y la transformación de sargazo y desechos alimentarios provenientes de biogás a escala piloto, en Punta Cana.

Como resultado de sus investigaciones ha publicado cinco artículos científicos y ha servido como revisor de pares en revistas indexadas internacionales. Actualmente es investigadora de la Universidad Federico Henríquez y Carvajal (UFHEC) y tiene a su cargo el Laboratorio de Investigación y Servicios Ambientales (LISA). Además, es docente de la asignatura Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ingeniería de la Universidad APEC (Unapec).

