

# Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático

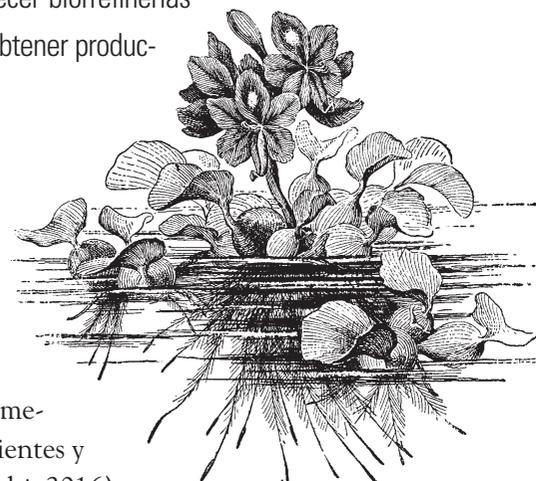
La infestación de lirio acuático origina problemas ambientales, económicos y de salud humana; en tanto, los esfuerzos para controlar su densidad poblacional son costosos y poco efectivos. Para reemplazar estos métodos, se propone establecer biorrefinerías capaces de procesar grandes cantidades de lirio a la semana para obtener productos que signifiquen un beneficio económico para la comunidad.

## Introducción

Las malezas acuáticas desempeñan un papel clave en el equilibrio estructural y funcional de los ecosistemas acuáticos; sus poblaciones alteran los regímenes de movimiento del agua, proporcionan refugio y alimento a peces e invertebrados y son capaces de modificar la calidad del agua mediante la regulación del equilibrio de oxígeno, los ciclos de nutrientes y la absorción de metales pesados y otros compuestos tóxicos (Kathi, 2016).

Debido a estas propiedades benéficas y a su peculiar estética, diversas especies de malezas acuáticas han sido introducidas por la acción humana en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las malezas exóticas infestan los cuerpos de agua y generan afectaciones ambientales, económicas y de salud humana.

Entre dichas malezas se encuentra el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (véase la Figura 1), el cual ha sido trasladado de su ambiente nativo (Brasil y Ecuador) e introducido en diversas zonas de América, Asia y África (Méndez-González y cols., 2021). El lirio acuático puede alcanzar una tasa anual de reproducción superior a las 1 400 toneladas por hectárea (Abselhamid y Gabr, 1991), por lo que, en pocos días, su población es capaz de infestar embalses acuáticos y afectar las rutas de navegación y pesca, bloquear canales de riego y redes hidráulicas, limitar el paso de luz y transporte de oxígeno y ocasionar la evaporación excesiva de agua (Gunnarsson y Mattsson, 2007).



### Embalse

Depósito de agua formado de manera artificial.

**Biomasa**  
Materia originada por  
un proceso biológico.



**Figura 1.** Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Crédito: Biorrefinería LirMexIII.

### El problema del lirio acuático en México

En nuestro país, las infestaciones de lirio acuático generan focos de infección debido a la acumulación de basura y al estancamiento de agua. Además, ocasionan pérdidas económicas relacionadas con las actividades turísticas, pesqueras y agropecuarias. Incluso los cambios químicos y físicos en el ambiente acuático provocados por la infestación son responsables de la disminución y desaparición de poblaciones endémicas de plantas y animales (como ajolote, charal, ranas y aves).

En la mayoría de las regiones afectadas, el presupuesto disponible para remover el lirio acuático es escaso, por lo que no todas son atendidas. La estrategia más utilizada en México requiere maquinaria pesada; en consecuencia, por su alto costo, esto no se lleva a cabo en la mayoría de las comunidades afectadas. En algunos casos, los habitantes organizan brigadas para remover el lirio de forma manual (véase la Figura 2), pero esto sólo contribuye al control

parcial del problema. Otras estrategias que se han implementado incluyen la aplicación de herbicidas químicos y agentes biológicos; sin embargo, debido a su baja efectividad y elevados costos económicos y ambientales, han caído en desuso.

En la actualidad, la alta capacidad de propagación y persistencia del lirio acuático es un problema en los cuerpos de agua que ha sobrepasado por mucho los esfuerzos desarrollados para controlar sus poblaciones. No obstante, debido a que esta maleza tiene una composición rica en polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) y minerales, una alternativa para erradicarla se basa en la posibilidad de aprovecharla como materia prima para ciertos procesos de producción de materiales de construcción, papel, bioenergéticos (etanol y metano), fertilizantes (composta y lombricomposta), enzimas, alimento para ganado e incluso hongos comestibles. Por lo anterior, alrededor del mundo está cobrando fuerza el enfoque del control poblacional del lirio acuático mediante el uso sostenible de su **biomasa**. El beneficio económico que se obtiene por los productos fabricados a partir del lirio acuático se incrementa en las refinerías que son capaces de procesar varios productos, pues se genera una cadena de producción que aprovecha la mayor parte de la planta (Nega y cols., 2021).

### Panorama de las biorrefinerías de lirio acuático

El lirio es la planta acuática flotante más agresiva del mundo, enlistada entre las 100 peores especies



**Figura 2.** Remoción manual de lirio acuático. Crédito: Biorrefinería LirMexIII.

exóticas invasoras (Romero-Borbón y cols., 2022). Esta especie, bajo condiciones favorables de temperatura y disponibilidad de nutrientes, puede duplicar su biomasa de 6 a 18 días con una alta densidad (arriba de 60 kg/m<sup>2</sup>). Una vez que el lirio acuático se presenta en un cuerpo de agua es muy complicado erradicarlo o por lo menos controlarlo (véase la Figura 3).

Para combatir los problemas que se atribuyen a la infestación del lirio acuático en los cuerpos de agua, se han desarrollado diferentes técnicas. Las principales incluyen su remoción por métodos mecánicos y la aplicación de sustancias químicas y de agentes de control biológico. Sin embargo, cada uno de éstos tiene limitaciones. Por ejemplo, los métodos mecánicos son costosos y requieren una labor intensiva; los métodos químicos, además de costosos, no pueden controlar grandes infestaciones de lirio acuático y llegan a generar efectos adversos en otras especies y en el ambiente; por otra parte, los métodos biológicos requieren tiempos prolongados para actuar y no logran una reducción importante (Sharma y cols., 2016).

Ante este panorama, el reto es desarrollar un método o una combinación de métodos para lograr controlar el lirio acuático y al mismo tiempo obtener productos a partir de su biomasa. Debido a su composición, el lirio puede ser utilizado como sustrato en una variedad de procesos biotecnológicos. Una alternativa para el aprovechamiento del lirio que se obtiene por extracción mecánica y su uso como sustrato consiste en su procesamiento en una biorrefinería.

### Biorrefinería LirMex III

Una biorrefinería es una instalación que integra los procesos y el equipamiento necesarios para obtener combustibles, energía y otros productos químicos a partir de la biomasa. El concepto de biorrefinería implica modelos sostenibles basados en el uso de sistemas renovables. Un ejemplo es la Biorrefinería LirMex III (véase la Figura 4), ubicada en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X), en el antiguo



Figura 3. Cuerpo de agua infestado con lirio acuático. Crédito: Biorrefinería LirMex III.

canal de Cuemanco, en la alcaldía de Xochimilco. El objetivo de la Biorrefinería LirMex III es implementar una estrategia sustentable con cero residuos para el manejo del lirio acuático. Para ello, se utiliza esta planta como única materia prima en cuatro procesos distintos:

1. **Composteo:** consiste en la descomposición aerobia de la biomasa que convierte la materia orgánica en un producto estable, higiénico y abundante en compuestos **húmicos** y minerales; es decir, la composta. El uso de composta en un suelo aumenta su capacidad de retención de agua

#### Húmicos

Compuestos orgánicos complejos formados por la descomposición de materia orgánica.



Figura 4. Vista aérea de la Biorrefinería LirMex III, ubicada en las instalaciones del CIBAC. Crédito: Biorrefinería LirMex III.



- y de nutrientes, mejora la aireación y disminuye el uso de fertilizantes químicos.
2. *Lombricomposteo*: este proceso se lleva a cabo con base en la interacción entre lombrices de tierra y ciertos microorganismos. Las lombrices fragmentan y acondicionan el sustrato para mejorar la degradación por la actividad microbiana. En la actualidad, estos productos cumplen con la norma NMX-AA-180-SCFI-2018 para la obtención de composta y lombricomposta tipo II.
  3. *Biogás*: este combustible es producido por fermentación anaerobia y contiene una mezcla de metano y dióxido de carbono. El biogás se puede utilizar para producir calor (en calderas), como combustible, para generar electricidad (mediante motores o turbinas) e incluso como materia prima. En particular, en la Biorrefinería LirMex III se puede utilizar directamente en los secadores de lirio.
  4. *Material absorbente*: el lirio acuático seco contiene un alto número de fibras que le otorgan un poder absorbente importante (hasta 12 veces su propio peso de agua). Esto se puede aprovechar para la recuperación de hidrocarburos o aceites, además de otras potenciales aplicaciones.

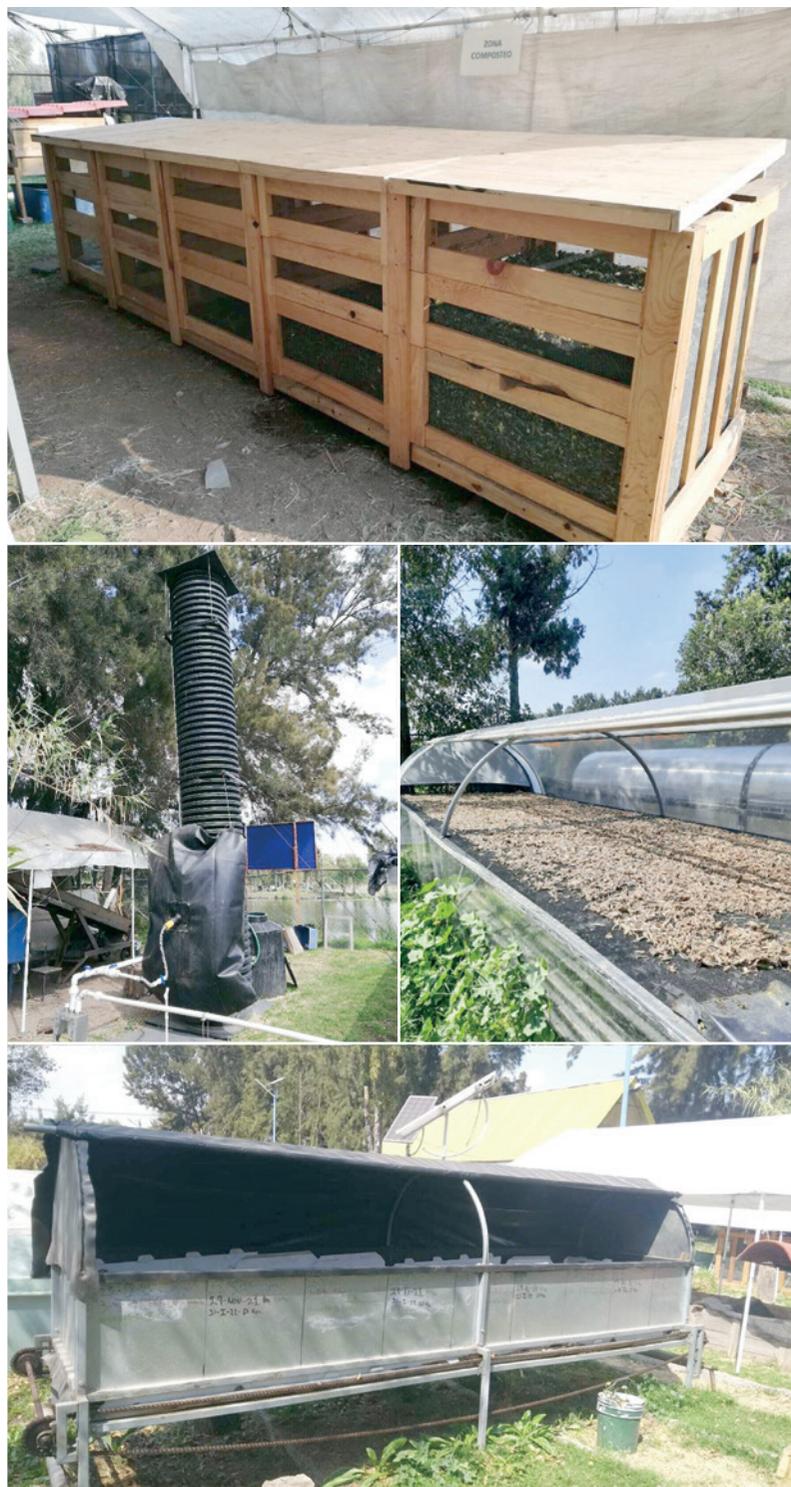
La Biorrefinería LirMex III tiene la capacidad de procesar 6 125 kg de lirio acuático por semana. Desde su instalación (en noviembre de 2019) se han tratado 48 lotes de lirio picado y lirio íntegro para producir composta en una batería de cinco compostadores de 1 m<sup>3</sup> cada uno y en pilas de composteo de 1.5 m de ancho × 2 m de largo × 1 m de altura, lo que representa 17 toneladas de lirio acuático procesado. También se han utilizado 2.85 toneladas de lirio para producir lombricomposta en cuatro prototipos diferentes: un pie de cría, una zanja y dos reactores de

flujo pistón. Adicionalmente, LirMex III cuenta con dos secadores solares para deshidratar el lirio; con estos equipos se han procesado 527 kg de lirio en 11 lotes para obtener material absorbente. Por otra parte, el biorreactor instalado en la biorrefinería para obtener biogás tiene un volumen útil de 2.7 m<sup>3</sup>. Para el arranque y la estabilización de este equipo se han destinado 500 kg de lirio y se espera una capacidad de producción de biogás de hasta 14 m<sup>3</sup> por semana. La Figura 5 muestra los equipos utilizados para llevar a cabo estos procesos.

El diseño, arranque y operación de la Biorrefinería LirMex III han permitido conocer a detalle cada uno de los procesos unitarios que se llevan a cabo con el lirio acuático como único sustrato. Esta experiencia acumulada se puede implementar para el escalamiento de la planta a una capacidad de 50 toneladas o más de lirio tratado por semana. De la cartera de productos que se obtienen en la biorrefinería (composta, lombricomposta, material absorbente y biogás), la composta se puede utilizar directamente (en una dosis de hasta 30% p/p) para mejorar los suelos, en particular, tierras agrícolas, por lo que se puede beneficiar a productores locales. Considerando únicamente la producción de composta (menores gastos de inversión y operación), con un precio de venta de \$5 pesos (MXN) por kilogramo y dependiendo de la capacidad instalada de la biorrefinería, se puede asegurar un monto anual que cubre los gastos de operación y amortización de la planta. Además, en función de las características y necesidades de la zona, el margen de utilidad se puede incrementar si el escalamiento se extiende a la producción de lombricomposta, material absorbente, biogás, entre otros productos biotecnológicos.

### Conclusiones

El lirio acuático es una planta originaria del Amazonas que fue llevada a diferentes partes del mundo, entre otras razones, por su belleza. Sin embargo, su rápido crecimiento, en un periodo de dos a tres semanas, puede formar una capa densa que cubre por completo un cuerpo de agua y ocasiona problemas importantes para la navegación y pesca, actividades recreativas, sistemas de irrigación y generación de



**Figura 5.** Equipos utilizados en la Biorrefinería LirMex III para producir composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. Crédito: Biorrefinería LirMex III.

energía, por mencionar algunos ejemplos. La extracción de esta planta de los cuerpos de agua que infesta cuesta miles de pesos por hectárea al año y hasta el momento no se obtiene un beneficio extra.

Ante ello, el establecimiento y la operación de una biorrefinería constituye una estrategia idónea para transformar el problema de control del lirio acuático en una oportunidad. En el caso de la Biorrefinería LirMex III, se rentabilizan los costos de extracción gracias a la obtención de cuatro productos: composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. Todo esto es posible en un sistema con cero residuos y cuya única materia prima es el lirio acuático. Además, LirMex III pretende funcionar como un modelo o vitrina que se podrá replicar en sitios con sobreabundancia de lirio acuático, pues se ha mostrado que es un sistema económicamente rentable, con un impacto ambiental importante y susceptible de escalamiento.

#### Agradecimiento

La instalación y operación de la Biorrefinería LirMex III cuentan con el apoyo financiero de la Sectei-CDMX (Proyecto 283-2019).

#### José Antonio Martínez Ruiz

Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.  
mrja@xanum.uam.mx

#### José Fernando Méndez González

Universidad Tecnológica de Tecámac.  
jmendezg@uttecamac.edu.mx

#### Referencias específicas

- Abdelhamid, A. M. y A. A. Gabr (1991), "Evaluation of water hyacinth as feed for ruminants", *Archives of Animal Nutrition*, 41(7/8):745-756.
- Gunnarsson C. C. y P. C. Mattsson (2007), "Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review", *Waste Management*, 27:117-129.
- Kathi, S. (2016), "Bioenergy from phytoremediated phytomass of aquatic plants via gasification", en M. N. V. Prasad (comp.), *Bioremediation and Bioeconomy*, Holanda, Elsevier, pp. 111-128.
- Méndez-González, F., A. Pichardo-Sánchez, B. H. Espinosa-Ramírez, N. Rodríguez-Durán, G. Bustos-Vázquez y L. V. Rodríguez-Durán (2021), "Valorization of non-native aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel", en L. J. Ríos González, M. A. Medina-Morales, J. A. Rodríguez-de-la-Garza y C. N. Aguilar (comps.), *Consolidated processes: bioenergy, biomolecules and biomaterials*, Florida, Apple Academic Press, pp. 271-282.
- Nega, D. T., A. V. Ramayya, F. Manenti y A. F. Amaral (2021), "Turning curse into cure: Potencial of water hyacinth for bio-refining. A contextual investigation of Lake Tana", *Environmental Challenges*, 5: 1000387.
- Romero-Borbón, E., A. Oropeza-González., Y. González-García y J. Córdova (2022), "Thermochemical and enzymatic saccharification of water hyacinth biomass into fermentable sugars", *Processes*, 10:1-12.
- Sharma, A., N. Aggarwal., A. Saini y A. Yadav (2016), "Beyond biocontrol: Water hyacinth-opportunities and challenges", *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(1):26-48.

