

**Artículo de divulgación**<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.0413>

Favela-Torres, 2023

Recibido: 27-04-2023

Revisado: 28-04-2023

Aceptado: 28-04-2023

Publicado: 30-04-2023

DESARROLLO DE BIORREFINERÍAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) EN LOS CANALES DE XOCHIMILCO**DEVELOPMENT OF BIOREFINERIES FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THE WATER LILY (*Eichhornia crassipes*) IN THE CHANNELS OF XOCHIMILCO**E. Favela-Torres^{1,*}^{1,*} Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Ciudad de México.

Correspondencia: favela@xanum.uam.mx

Resumen

El lirio acuático es una planta invasiva que genera problemas en actividades de turismo, pesca, generación de energía eléctrica y, sobre todo, afecta los ecosistemas en los que está presente en abundancia. En este documento se presentan dos estrategias de manejo sustentable de lirio acuático, que resultaron de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto “Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco” financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Las actividades de dicho proyecto se realizaron del 1 de noviembre de 2019 al 30 de julio de 2022. El objetivo del proyecto fue “Diseñar, construir y operar una biorrefinería de lirio acuático que se localizará en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco”. Esta biorrefinería podrá servir como “vitrina” para su replicación en otros sitios de las alcaldías aledañas a Xochimilco. Como resultado del proyecto se desarrollaron estrategias de manejo sustentable de lirio acuático. La primera estrategia de alcance “local” propone el manejo de 500 a 1000 kg de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta y material absorbente. La segunda estrategia de alcance “regional” propone el manejo de 5 a 50 o más toneladas de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. En ambos casos, el propósito fundamental es reducir significativamente los problemas asociados a la presencia



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

excesiva del lirio acuático en cuerpos de agua a través de estrategias para su manejo sustentable.

Palabras clave: malezas acuáticas, manejo sustentable, valorización.

Abstract

The water lily is an invasive plant that causes problems in tourism activities, fishing, and electricity generation and, above all, affects the ecosystems in which it is highly present. This document presents two strategies for the sustainable management of water lily, which resulted from the activities carried out during the execution of the project "Development of biorefineries for the sustainable management of water lily (*Eichhornia crassipes*) in the channels of Xochimilco" financed by the Secretariat of Education, Science, Technology, and Innovation of Mexico City. The project activities were carried out from November 1, 2019, to July 30, 2022. The objective of the project was "Design, build and operate a water lily biorefinery that will be operated in the Cuemanco Biological and Aquaculture Research Center". This biorefinery may serve as a "showcase" for its replication in other sites in the municipalities surrounding Xochimilco. As a result of the project, sustainable management strategies for water lilies were developed. The first "local" outreach strategy proposes the management of 500 to 1000 kg of fresh lily per week to produce compost, vermicompost, and absorbent material. The second "regional" scope strategy proposes the management of 5 to 50 or more tons of fresh lily per week to produce compost, vermicompost, absorbent material, and biogas. In both cases, the fundamental purpose is to significantly reduce the problems associated with the excessive presence of the water lily in bodies of water through strategies for its sustainable management.

Keywords: Aquatic weeds, sustainable management, valorization.

1. Introducción

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática originaria de Sudamérica y está presente en más de 140 países tropicales y subtropicales (desde los 40°N hasta los 45°S) y prácticamente en todo el territorio mexicano. Es una planta de muy rápido crecimiento, capaz de duplicar su biomasa en 10 días a 30°C. Por ello, la planta es capaz de cubrir completamente la superficie de cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, presas) en tiempos muy cortos [1] presentando problemas ambientales, económicos y sociales. En efecto, el lirio acuático es una planta invasiva que ha sido considerada como una plaga. Por ello, es de vital importancia la existencia de programas de manejo de lirio

acuático para mantener la vocación de los cuerpos de agua; que puede ser recreativa, productiva y de conservación ambiental. Ejemplo de ello, son los lagos de Chapala, Valle de Bravo y Xochimilco que representan, entre otras actividades, un gran interés para el turismo nacional e internacional. Por otro lado, tenemos ríos, lagos y embalses usados para la navegación y actividades productivas como la pesca y la generación de energía eléctrica.

Como buena parte de la biomasa vegetal los componentes mayoritarios del lirio acuático son hemicelulosa, celulosa, lignina, proteína y cenizas [2]. Los biopolímeros lignocelulósicos representan hasta el 80 % de la biomasa del lirio en base seca. Estos biopolímeros representan una importante



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

fuelle de materias primas para la producción de una gran cantidad de productos que van desde productos artesanales y de construcción hasta nanopartículas de celulosa de uso en el sector salud.

Las estrategias utilizadas para el control de la presencia de lirio acuático en cuerpos de agua

consisten en su remoción (manual o mecánica), su trituración mecánica y hundimiento, adición de herbicidas y control biológico. Cada una de ellas representa diferentes costos, tiempo de efectividad e impacto ambiental (Tabla 1).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos disponibles para el control del lirio acuático en cuerpos de agua.

Ventajas

Mecánico	Químico	Biológico
Rápido	Barato	No presenta efectos negativos para el hombre, cultivos o ambiente
Remueve grandes cantidades de biomasa	Acción rápida	Mantiene la proporción de lirio a niveles manejables
Moderadamente selectivo	Dosis bajas	

Desventajas

Mecánico	Químico	Biológico
Mano de obra intensiva	Los productos usados son parcialmente degradables	Tiempos de respuesta largos (de 1 a 3 años)
Caro	Mala imagen pública	Su efectividad depende de las condiciones geográficas y climáticas del sitio
Provoca azolvamiento en cuerpos de agua	Cambia la composición de especies animales y vegetales	Búsqueda permanente de agentes de control
No considera la disposición del lirio	Genera resistencia en la planta	
	Persistencia y bioacumulación	

Entre los productos que pueden obtenerse a partir del lirio tenemos artesanías, material de construcción, papel, fertilizantes y substitutos de suelos (composta y lombricomposta), biocombustibles (bioetanol y metano), enzimas, prebióticos, aditivos para nutrición animal, material absorbente, entre otros (Fig. 1) [2,3].

2. Problemática a resolver

El lirio acuático es una planta invasiva de rápido crecimiento que debe de ser controlada para

evitar los problemas asociados a su presencia excesiva en cuerpos de agua. En el momento actual, la mejor opción para el control de la planta es su extracción mecánica, asegurando que, dependiendo de la vocación de cada cuerpo de agua, la presencia del lirio no ocupe una superficie mayor al 20 % del cuerpo de agua. Está magnitud deberá ser evaluada para cada cuerpo de agua en el que se propongan estrategias de control. Actualmente, una vez extraído el lirio, éste es depositado a la orilla de los cuerpos de agua o transportado a sitios de disposición



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

temporal o definitiva. En ambos casos, el depósito del lirio en sitios no designados para ello puede generar problemas de putrefacción y generación de lixiviados que afectan negativamente el entorno. Por otro lado, su traslado a sitios de disposición temporal o final genera altos costos de transporte debido al muy alto contenido de agua (95 %) en el lirio. Por lo que, el lirio debe de ser extraído de los cuerpos

de agua para evitar los problemas asociados a su presencia excesiva y debe ser sometido a una estrategia de manejo sustentable para evitar los problemas asociados a su disposición intermedia o final. Lo anterior, de realizarse en las cercanías del cuerpo de agua para evitar altos costos de transporte.

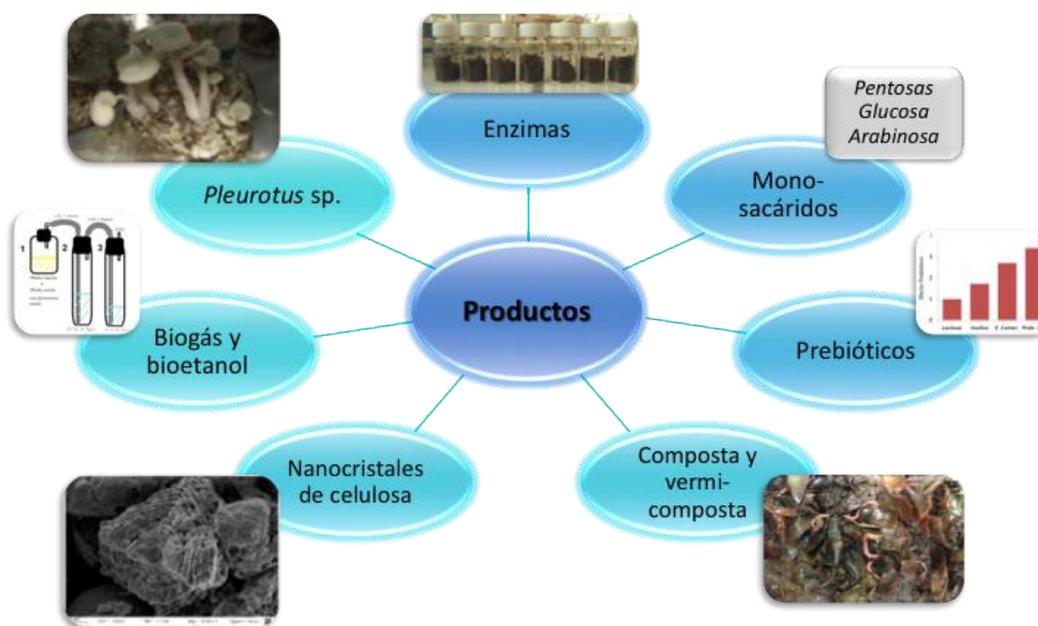


Fig. 1. Usos y aplicaciones del lirio acuático.

3. Propuesta

Para atender a la problemática asociada a la extracción, transporte y disposición del lirio, se proponen dos estrategias biotecnológicas de pequeña y gran escala a través del desarrollo, instalación y operación de biorrefinerías de lirio acuático que, además de dar un manejo sustentable a la planta, contribuirán a compensar los actuales gastos de manejo. Ambas estrategias, de pequeña y gran escala, consideran operaciones biotecnológicas de baja inversión que generan productos susceptibles de ser introducidos al mercado para la generación de bienes y servicios. Concretamente, las

operaciones propuestas a ambas escalas involucran la producción de i) composta, ii) lombricomposta, iii) biogás y iv) material absorbente.

Biorrefinería de lirio acuático

La estrategia biotecnológica general para el aprovechamiento del lirio acuático considera el esquema de Biorrefinerías que operan en régimen de cero residuos (Fig. 2).



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

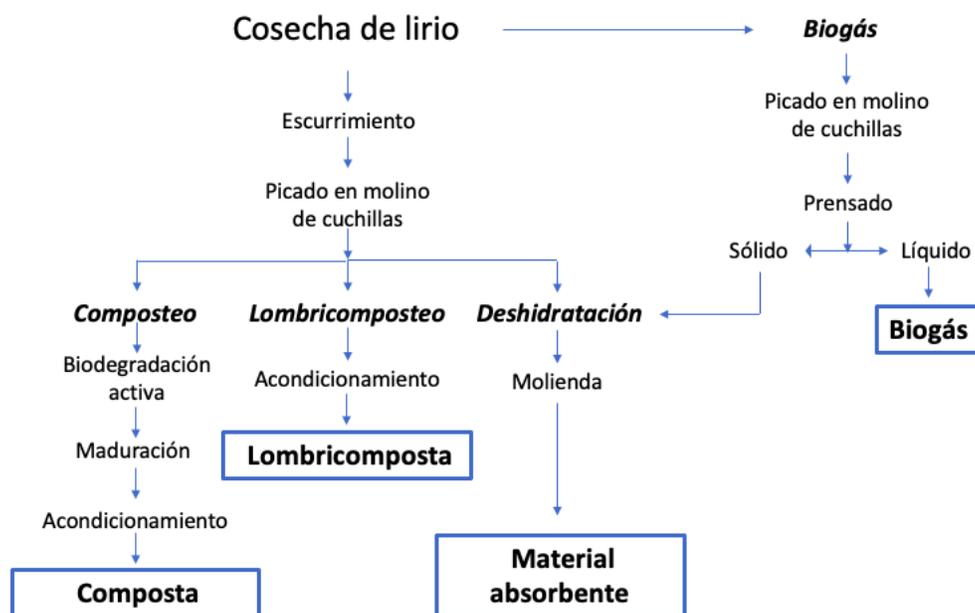


Fig. 2. Estrategia biotecnológica de manejo sustentable de lirio acuático.

A continuación, se define brevemente cada una de las operaciones unitarias consideradas en la biorrefinería:

Composta. Es el producto de la degradación microbiana de la materia orgánica. Puede ser utilizado como fertilizante o para mejorar suelos con diferentes propósitos.

Lombricomposta. Es el producto de la degradación de la materia orgánica por lombrices y microorganismos. Puede ser utilizado como fertilizante o para mejorar suelos con diferentes propósitos.

Material absorbente. Es el producto de la deshidratación controlada del lirio acuático. Es utilizado para el control de derrames de líquidos acuosos u orgánicos.

Biogás. Es un producto rico en metano y dióxido de carbono (60:40) que resulta de la degradación de la materia orgánica presente en el jugo de lirio por una mezcla compleja de microorganismos anaerobios. Es utilizado como combustible para diferentes propósitos.

Biorrefinería de pequeña escala

Esta biorrefinería está diseñada para ser operada por pequeños propietarios y/o agricultores de campos de cultivo localizados a las orillas de cuerpos de agua con presencia de lirio. Los productos propuestos a esta escala son composta, lombricomposta y material absorbente.

La materia prima de la biorrefinería de pequeña escala (Biorrefinería PE) es el lirio acuático que se acumula en los linderos del cuerpo de agua (canal, lago, río) aledaño al terreno o campo de cultivo del pequeño propietario y/o agricultor. Se pueden cosechar semanalmente de 500 a 800 kg de lirio fresco equivalentes al lirio acuático presente en una superficie de 20 a 35 m² del cuerpo de agua con una temperatura promedio de 20 °C. Una vez extraído el lirio del cuerpo de agua, se recomienda su escurrimiento por 1 o 2 días. A continuación, se reduce el tamaño de la planta con el uso de machetes y el lirio triturado se destina a los procesos destinados para la Biorrefinería PE.



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

Los cajones de composteo de la Biorrefinería PE tienen una capacidad de operación de 400 a 500 kg de lirio escurrido y triturado para producir de 30 a 36 kg de composta por semana (Fig. 3). Para ello, se requiere de una batería de 4 cajones contruidos con tarimas de madera. Cada cajón tiene una capacidad de 1 m³ (1m de ancho, 1 m de fondo y 1 m de alto). La operación de la planta de composteo consiste en depositar semanalmente entre 400 y 500 kg de lirio fresco, escurrido y triturado en el cajón 1. Semanalmente, se transfiere el material del cajón 4 a la zona de maduración, el material del cajón 3 se transfiere al cajón 4, el material del cajón 2 se transfiere al cajón 3 y, el material del cajón 1 se transfiere al cajón 2. Esto permitirá la aireación y eventual enfriamiento de la composta en cada uno de los cajones.

El material destinado a la zona de maduración se usará para la formación de pilas de 1 m de ancho, 0.6 m de alto y hasta 8 m de longitud. Este material en maduración debe de ser movido con palas cada 4 semanas para favorecer la maduración homogénea del producto. Se considera un tiempo de maduración de 12 a 20 semanas, pudiendo ser este mayor sin afectar la calidad del producto. Una vez concluido el tiempo de maduración, la composta puede ser homogeneizada mecánicamente con una pala y usada directamente como composta o almacenada para su uso posterior.

Por otro lado, en la Biorrefinería PE se pueden cosechar de 50 a 100 kg de lirio fresco para producir semanalmente de 3.6 a 7.2 kg de lombricomposta. Para ello, se construirán zanjas o pilas de lombricomposteo de 0.6 m a 1 m de ancho y de 2.5 a 4 m de largo con una altura de 0.4 a 0.6 m y que la base tenga una inclinación de 5° para la recuperación de lixiviados. El lirio fresco, escurrido y triturado semanalmente se coloca en el extremo de la pila de lombricomposteo de tal manera que la pila vaya creciendo vertical y longitudinalmente al ir adicionando semanalmente el material que se someterá a lombricomposteo. Para la obtención de la lombricomposta se considera un tiempo de biodegradación de 16 a 32 semanas.

El modo de operación de la pila de lombricomposteo de la Biorrefinería PE se describe a continuación:

- 1) Construir una zanja de 1 m de ancho, 0.5 m de alto y 3 m de largo. Procurar que el fondo de la zanja tenga una inclinación de 5° para recoger lixiviados en cada módulo de 0.5 m de largo
- 2) En el módulo 1 colocar un bloque de 200 kg de lombricomposta fresca (rica en lombrices) que ocupe un volumen de 0.2 m³. En el módulo 2 colocar 0.05 m³ de lirio fresco, escurrido y triturado (alrededor de 25 kg).
- 3) Durante las próximas 9 semanas adicionar en el módulo 25 kg a la semana de lirio fresco, escurrido y triturado.
- 4) En la semana 11 pasar 0.005 m³ de lombricomposta de la parte superior del módulo 1 a la parte superior del módulo 2 y adicionar al módulo 3, 0.05 m³ de lirio fresco, escurrido y triturado.
- 5) Continuar la alimentación del módulo 3 durante las próximas 10 semanas y repetir la operación del punto 4 para ir alimentando el módulo 4.
- 6) A partir de este momento, después de 18 semanas ya se puede cosechar la lombricomposta del módulo 1; y así sucesivamente.

Ambos productos, composta y lombricomposta, pueden ser utilizados por el pequeño propietario para su autoconsumo.

Adicionalmente, en la Biorrefinería PE se pueden procesar entre 50 y 100 kg de lirio fresco para producir semanalmente de 4 a 8 kg de material absorbente que puede ser usado localmente para la contención de derrames líquidos. Para ello, se debe de contar con una superficie de terreno de 20 m² a 40 m², colocando a razón de 2.5 kg de lirio fresco, escurrido y triturado por metro cuadrado y dejarlo al sol hasta que el peso se mantenga constante. Esta operación deberá hacerse en días soleados, al abrigo de la lluvia y con baja humedad relativa en el medio ambiente.



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

El tiempo de secado puede durar de 48 a 96 h. El secado se llevará a cabo más rápido si el lirio se coloca en malla de plástico localizada a 50 cm del nivel del suelo. Esto favorecerá el flujo de aire caliente a través del lirio.



Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de pequeña escala.

Biorrefinería de mediana y gran escala

La biorrefinería de mediana y gran escala está diseñada por ser operado por los sectores privado y público. Los productos propuestos para este tipo de biorrefinerías son composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. La materia prima de la biorrefinería de mediana y gran escala (Biorrefinería GE) es el lirio acuático que se acumula en cuerpos de agua en el país (canales, lagos, ríos, presas, entre otros). La capacidad de operación de este tipo de Biorrefinerías GE depende de la superficie del cuerpo de agua y de la tasa de duplicación de la biomasa del lirio; siempre considerando que las instalaciones de la biorrefinería deben estar lo más cerca del cuerpo de agua del que se cosechará el lirio acuático. Además, es importante localizar la biorrefinería en un sitio

cercano al lugar de acumulación natural (por viento y/o corrientes de agua) del lirio acuático. Lo anterior es importante para reducir los costos de cosecha y transporte del lirio acuático.

Por lo anterior, en esta sección no dimensionaremos los procesos de transformación del lirio en la Biorrefinería GE; en lugar de ello, describiremos la estrategia de manejo sustentable de lirio acuático a gran escala (Fig. 4).

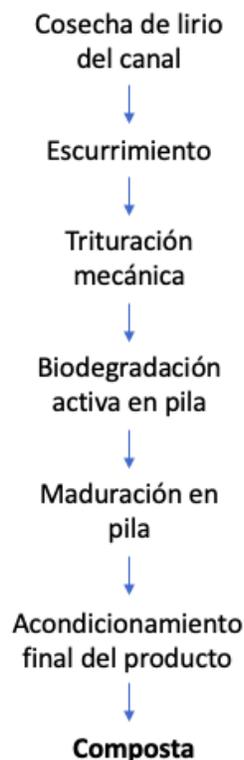


Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de mediana y gran escala.

Cómo parte de la extracción del lirio acuático se recomienda depositarlo en transportadores ligeros (TL) de 24 a 45 m³ (3 m de ancho, de 4 a 5 m de largo y de 2 a 3 m de altura) con capacidad para escurrir y transportar de 4 a 6 ton de lirio fresco por TL. Además de transportar el lirio del sitio de cosecha a la biorrefinería, los TL servirán



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

para el escurrimiento del exceso de agua en el lirio. Como se mencionó anteriormente, se recomiendan 48 h de escurrimiento en sitios al abrigo de la lluvia. El lirio escurrido es transportado de la zona de escurrimiento a la zona de trituración; en donde, el lirio será fragmentado en un triturador y posteriormente transportado a las zonas de composteo, lombricomposteo, secado o de producción de biogás.

En las biorrefinerías de gran escala el lirio triturado es composteado en pilas de composteo que, dependiendo de la capacidad de operación de la planta de composteo, pueden ser pilas de 1.4 m de ancho, 0.8 m de alto y hasta 100 m de largo; hasta pilas de 5 m de ancho, 2 m de alto y hasta 100 m de largo. En términos de las condiciones de manejo del lirio en la zona de compostaje, el proceso se divide en dos etapas: Biodegradación activa y maduración. El lirio escurrido y triturado es transportado a los patios de composteo en los que se lleva a cabo la primera etapa (Biodegradación activa) que tiene una duración de 4 semanas. Para esta etapa se arman las pilas de composteo, cuyas dimensiones dependerán de la capacidad de operación de la biorrefinería. El material en las pilas es volteado con una volteadora de composta o con una pala mecánica de 1 a 2 veces por semana durante 4 semanas. Durante esta etapa de 4 semanas hay una reducción de 70 a 80 % en el volumen del material. Al finalizar la etapa de biodegradación activa, el lirio es transportado a los patios de maduración, en donde se lleva a cabo la 2ª etapa del composteo. Esta etapa tiene una duración de 3 a 4 meses durante los cuales el material es volteado con una volteadora de composta o con una pala mecánica de 1 a 2 veces por mes. Al finalizar la etapa de maduración, el material es transportado a la zona de acondicionamiento final, en donde el producto es homogeneizado y preparado para su presentación final; que puede ser a granel o en costales de 20 a 30 kg. Se procurará que el contenido de humedad del producto final sea de 30 a 40 % (p/p).

Para la producción de lombricomposta, el lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de

lombricomposteo. Las dimensiones y número de lombricomposteadores (LCo) dependerá de la capacidad de operación de la Biorrefinería GE. En términos generales, se proponen dos modelos de operación de lombricomposteadores; estos pueden operar en régimen de lote alimentado o en régimen de flujo pistón. En ambos casos la tasa de alimentación de los LC va de 20 a 50 kg de lirio escurrido y triturado por semana y por m² de superficie de lombricomposteador y el tiempo de residencia del material en los LC va de 18 a 24 semanas. Una vez extraído el material de los LC se recomienda un periodo de estabilización en pila durante 4 semanas; seguido de la etapa de acondicionamiento final para tener un producto estable con 10 a 40 % (p/p) de contenido de humedad.

Para la obtención del material absorbente se usa la misma estrategia propuesta para la Biorrefinería PE; a saber, el lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de secado en donde se distribuye en mallas de plástico localizadas a 50 cm del nivel del suelo. Para dimensionar la zona de secado se considera una tasa de alimentación del lirio a los secadores de 2.5 a 10 kg de lirio fresco y triturado por semana por metro cuadrado. Una vez deshidratado, el lirio puede ser tamizado para eliminar partículas menores a 2 mm y empacado en costales de 2.5 a 10 kg de materia seca u homogeneizado en molino de martillos previo a su empaque en costales de 5 a 20 kg de materia seca. La patente otorgada a la empresa Tecnología Especializada en el Medio Ambiente S.A. de C.V. [4] describe con detalle la producción y uso del material absorbente obtenido a partir de lirio acuático y presenta los desarrollos históricos de la empresa TEMA S.A. de C.V. relacionados con el aprovechamiento de lirio acuático como material absorbente.

La producción de biogás en la Biorrefinería GE dependerá esencialmente de la vocación y necesidades energéticas de la Biorrefinería. El biogás es un producto rico en metano (metano/CO₂, 60/40) que puede ser utilizado como combustible para actividades domésticas (estufas, calentadores) o industriales (secadores y



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

generadores de energía eléctrica). Por su baja compresibilidad el metano presenta problemas de almacenamiento; por lo que, es recomendable producirlo y usarlo simultáneamente. La cantidad de lirio destinado a la producción de biogás estará directamente relacionada con el consumo de energía en la biorrefinería; en la que puede ser utilizada para los secadores de lirio acuático, como combustible en algunos de los motores de la biorrefinería o para la generación de energía eléctrica en generadores alimentados con biogás. La estrategia de producción de biogás a partir de lirio acuático (Fig. 5). El lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de producción de biogás en donde es sometido a un proceso de extrusión y separación líquido sólido por medio de un extrusor diseñado y construido para ese propósito. Del extrusor se obtiene de 50 a 70 % de líquido rico en materia orgánica (JLA) y de 30 a 50 % de sólido extruido húmedo (SEH) que puede ser usado para la producción de un material absorbente de mejor calidad que el obtenido con el lirio integro. El JLA es diluido con agua del cuerpo de agua para obtener una concentración de DQO de 20 a 100 g/L y alimentado a un biorreactor anaerobio de flujo ascendente que opera con un tiempo de residencia hidráulico de 24 h. El biogás obtenido deberá ser directamente utilizado en las instalaciones de la biorrefinería o en zonas habitacionales aledañas a la biorrefinería.

Es muy importante mencionar que la infraestructura de la Biorrefinería GE puede ser utilizada para el procesamiento de la fracción orgánica de residuos orgánicos urbanos (FORSU) o para el tratamiento de aguas residuales.

4. Conclusión

El lirio acuático es una planta invasiva con gran presencia en cuerpos de agua en México. Su presencia excesiva genera problemas de índole social, ambiental y económico. La única estrategia para su manejo sustentable es la extracción manual o mecánica y su transformación en productos bajo el concepto de cero residuos. Esta transformación puede ser a pequeña, mediana o gran escala bajo el esquema de operación de

biorrefinerías para producir composta, lombricomposta, material absorbente y/o biogás; que puede ser usados por pequeños propietarios, productores, inversionistas o las propias instancias municipales, estatales y federal. Entre mayor sea la capacidad de operación de la biorrefinería mayor es el margen de utilidad asociada a la comercialización y uso de los productos arriba descritos. La infraestructura de la biorrefinería de lirio acuático puede ser utilizada para el procesamiento de FORSU y aguas residuales; contribuyendo al saneamiento integral del medio ambiente.

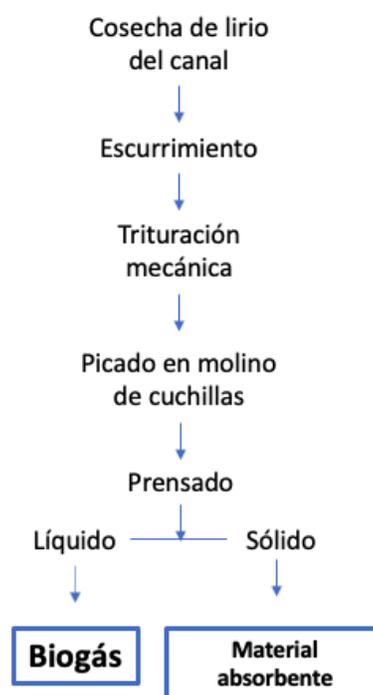


Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de mediana y gran escala.

5. Agradecimientos

El proyecto contó con el apoyo financiero de la SECTEI-CDMX (Proyecto 283-2019).



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

6. Referencias

[1] Abdelhamid AM y Gabr AA Evaluation of water hyacinth as feed for ruminants”, Archives of Animal Nutrition. 1991, 41 (7/8), 745–756.

[2] Gunnarsson CC y Mattsson PC. “Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review”, Waste Management. 2007, 27: 117-129.

[3] Méndez-González F, Pichardo-Sánchez A, Espinosa-Ramírez BH, Rodríguez-Durán N, Bustos-Vázquez G y Rodríguez-Durán LV. Valorization of non-native aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel, en Ríos González JL, Medina-Morales MA, Rodríguez-de-la-Garza JA y Aguilar CN (editores), Consolidated processes: bioenergy, biomolecules and biomaterials, Florida, Apple Academic Press. 2021, pp 271-282.

[4] Vargas-Soto JE, Vargas-Soto JL y Vargas-Soto JC. Lirio acuático procesado y acondicionado alternativa en la generación de energía. 2017, OMPI WO 2007/094651 A1.