



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

---

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE  
LICENCIADO(A) EN BIOLOGÍA

**OPERACIÓN DEL BIORREACTOR ANAEROBIO DE  
FLUJO ASCENDENTE (BAFA) DE LA BIORREFINERÍA  
LIRMEX III "DR. ERNESTO FAVELA TORRES"**

QUE PRESENTA EL ALUMNO

**Raul Arnulfo Aguilera Ibarra**

Matrícula  
**2142031670**

ASESOR



Asesor interno

Dr. Ernesto Favela Torres

No. Económico: 16302

Ciudad de México

agosto, 2022

# Índice

- Marco institucional ..... 3
- Introducción ..... 3
- Antecedentes ..... 4
- Ubicación..... 4
- Objetivo general..... 5
- Objetivos particulares ..... 5
- Especificaciones de las actividades desarrolladas..... 6
  - Trabajo de campo..... 6
  - Trabajo de gabinete. .... 8
- Impacto de las actividades desarrolladas ..... 8
- Aprendizaje y habilidades obtenidas ..... 10
- Fundamento de las actividades de servicio social ..... 10
- Referencias..... 12

## Marco institucional

El Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) originalmente pertenecía a la Delegación Xochimilco; sin embargo, en 1994 se cedieron los derechos a la Universidad Autónoma Metropolitana. Esto último con la finalidad de que la institución utilizará el espacio físico para dar continuidad a los trabajos de conservación de especies de Xochimilco (DITEI, s.f.).

El CIBAC se encuentra dentro de un Área Natural Protegida, por lo que, es un lugar estratégico para el trabajo interdisciplinario entre los usuarios de Xochimilco, los chinamperos, los prestadores de servicios turísticos y la comunidad científica de la UAM, con el objetivo de trabajar en conjunto para la conservación de los humedales de Xochimilco (DITEI, s.f.).

## Introducción

Los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés o BAFA en sus siglas en español) tuvieron su aparición en Holanda en 1980 (Camacho, 2012).

El reactor BAFA se encuentra compuesto por bombas sumergibles, encargadas de suministrar agua del canal, así como para alimentar al biorreactor con la mezcla de jugo. Por su parte, el tablero de control concentra los dispositivos de conexión para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica. Además, posee una cisterna, válvulas de bola, arretastflamas, un quemador y la bolsa de almacenamiento. En conjunto, el sistema de biogás opera de manera adecuada (Ramírez, 2021).

El funcionamiento consiste en que, el agua residual ingresa en la parte inferior del reactor y atraviesa un lecho de lodo. Parte del agua tratada sale por canales hacia otro tratamiento y la otra fracción sale como gas que es recolectado en campanas para gas (Camacho, 2012).

Por otra parte, dentro de las instalaciones del CIBAC, se encuentra un sistema de producción de biogás, el cual consta de un reactor UASB construido de polietileno de alta densidad (PEAD), con un volumen de 2,700 L; capacidad suficiente para procesar de 150 a 1,000 kg de lirio acuático al día, esta planta figura como el recurso de todo el sistema de producción de biogás (Ramírez Estrada, 2021).

Dentro de los usos que se le puede dar al biogás, se encuentra la obtención de energía térmica (calor), la cual se puede ocupar para actividades como cocinar, calentar agua e iluminación. Por lo anterior, el biogás representa una alternativa sustentable para brindar este servicio en aquellos lugares donde los combustibles son escasos (Varnero, 2011). El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación (Varnero, 2011).

## Antecedentes

La digestión anaerobia inició en México en 1987, sin embargo, el desarrollo fue lento, pues a partir del año 1991 se registró la mayor tasa de construcción. Posteriormente, en 1994 se reportaron disminuciones significativas, principalmente debido a la crisis económica nacional. Por su parte, desde 1996 la creación de reactores UASB se ha mantenido, pese a la reducción de fondos públicos y privados destinados a resolver problemáticas ambientales (Marquez *et al.* 2011).

De igual manera, hasta el año 2015, CONAGUA reportaba que, en México, los reactores UASB son frecuentemente utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas de poblaciones pequeñas, gracias al bajo consumo de energía y su capacidad para tratar desechos con elevada carga orgánica.

En este sentido, el primer reactor UASB para tratar aguas residuales municipales se construyó en 1989, en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, comenzó como una unidad de demostración y empezó a operar con una capacidad de 50 m<sup>3</sup>. En 1990, se construyeron dos unidades de 2200 m<sup>3</sup> cada una, fue construida por el gobierno. (Monroy, *et al.*,2000). Por otra parte, la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella inició sus operaciones en los años 1950 para suministrar aguas tratadas a la zona chinampera en Xochimilco. Durante el año 2014 se añadió un UASB, para la remoción de carga orgánica cumpliendo satisfactoriamente con su función (Bollas, 2010).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, es posible decir que, no se tiene registro de usos alternativos para los reactores UASB, pues la mayoría han sido utilizados o alimentados con aguas caracterizadas por el exceso de materia orgánica, tales como, rastros, granjas y derivados de procesos alimenticios. Por lo que, el uso de reactores UASB para la producción de biogás a través de otros tipos de recursos naturales, como el lirio, puede resultar novedoso.

## Ubicación

El Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC), geográficamente se ubica en: Antiguo canal de Cuemanco 3, Pista Olímpica Virgilio Uribe, Xochimilco, 1634 Ciudad de México CDMX. (Fig 1), Google Maps 2021.



Fig. 1. Ubicación geográfica del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco. Google Maps 2021.

## Objetivo general

Ejecutar el arranque y operación del Biorreactor Anaerobio de Flujo Ascendente (BAFA) para la producción de biogás, resultante de la transformación fisicoquímica del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

## Objetivos particulares

Analizar estadísticamente los parámetros fisicoquímicos, así como la cantidad de alimento (lirio fresco), que se le proporcionaba al biorreactor para determinar su estabilización.

Proporcionar las condiciones óptimas para el correcto funcionamiento del biorreactor y la producción de biogás.

## Especificaciones de las actividades desarrolladas

Las actividades desarrolladas durante los seis meses al interior de la biorrefinería “LirMex III” pueden dividirse en dos grupos: trabajo de campo y de gabinete. En ambas áreas se ejecutaron tareas relevantes para el cumplimiento de los objetivos. A continuación, se presentan las actividades detalladas.

### Trabajo de campo

La determinación de las condiciones óptimas del biorreactor se obtuvo mediante el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos como el pH y la temperatura, utilizando un medidor de pH digital modelo generic marca GENERIC®, así como un termómetro digital modelo TER-100, marca Steren®, durante el periodo comprendido del 1 de febrero a 30 de julio del 2022.

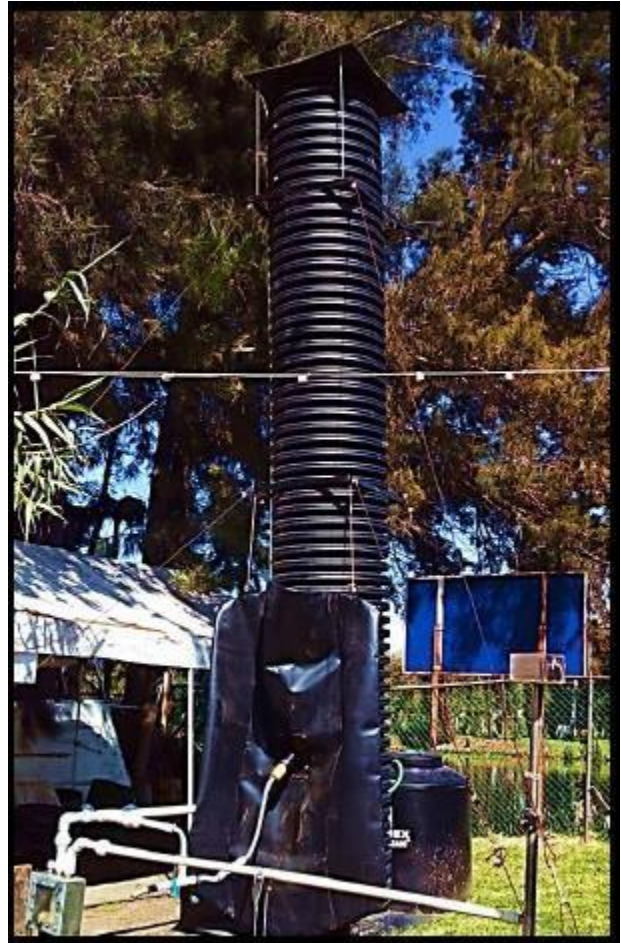


Figura 2 Biorreactor BAFA



Figura 3 Toma de parámetros fisicoquímicos (temperatura y pH)

Posteriormente, del canal de cultivo se recolectaba una cantidad específica de lirio íntegro, el cual se pasa directamente a la banda transportadora y de ahí al molino de picado. El lirio triturado se transfiere al extrusor para que este fuera prensado, para obtener bagazo y la mayor cantidad de jugo posible, este se ocupaba para alimentar al biorreactor BAFA. Además, el jugo era medido con una báscula digital de plataforma.



Figura 4 Recolección de lirio para la obtención de jugo



Figura 5 Extrusor, picador y banda transportadora

Por último, de manera semanal se realizaba un mantenimiento al tanque del biorreactor, el cual consistía en vaciar el tanque en su totalidad para, posteriormente, volverlo a llenar.

#### Trabajo de gabinete.

Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del BAFA y la cantidad de lirio y jugo, se vaciaron en Excel 2013® a fin de generar una base de datos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis estadístico, el cual consistió en obtener un promedio semanal y mensual, así como los valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y la cantidad de jugo y lirio. Por último, este análisis se presentó mediante el uso de recursos visuales como gráficas. Concluyendo este trabajo se buscó literatura para poder compararlos parámetros que se tomaron esto con el fin de ver si el comportamiento del BAFA era el correcto para su óptima operación.

#### Impacto de las actividades desarrolladas

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una especie de la familia Pontederiaceae, originaria de la cuenca del Amazonas y de las regiones del Pantanal del occidente de Brasil. Esta especie fue introducida en México a finales del siglo XIX con fines ornamentales, sin embargo, registró una rápida propagación, situándose en áreas donde las temperaturas bajas son características. Dentro del territorio nacional, el lirio acuático presenta un amplio rango de distribución, principalmente en la zona centro, en la vertiente del Pacífico y en la del Golfo, así como, en las zonas templadas y subtropicales de las cuencas hidrológicas de los ríos Lerma-Chapala-Santiago, Balsas, Pánuco y Bravo (CONABIO, 2015).



Por lo anterior, en México figura como una especie exótica-invasora, con un elevado crecimiento, reproducción y competitividad. Además, es considerada como una de las principales malezas de agua dulce a nivel mundial, formando parte de las 100 especies más invasoras del mundo por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) (CONABIO, 2008).

Algunos de los efectos que esta especie exótica-invasora tiene sobre el ambiente son las limitaciones en el paso del agua y en la cantidad de oxígeno disuelto, debido al extenso crecimiento del lirio acuático, afectando la supervivencia de flora y fauna nativa, resultando en la degradación del medio ambiente y la reducción de la biodiversidad (CONABIO, 2015).

Por otra parte, dentro de los impactos económicos y sociales asociados a la colonización del lirio acuático en los cuerpos de agua se incluye el impedimento de los usos recreativos, comerciales y turísticos, tales como la pesca y la navegación.

Pese a que esta especie es considerada como exótica-invasora y tiene afectaciones en el medio ambiente, la economía y la sociedad, también se ha documentado una variedad de usos y aplicaciones que puede tener, tales como abono verde, fertilizante, forraje, alimento para peces, producción de biogás y depuración de aguas residuales (CONABIO, 2015, Barleó et al., 2019). Además, puede aprovecharse como fitorremediador, ya que, tiene potencial para la acumulación de metales (Carrión et al. 2012). Debido a esto, en el 2019 se creó LirMex III "Dr. Ernesto Favela Torres" al interior de las instalaciones del CIBAC, la cual corresponde a una biorrefinería encargada de implementar una estrategia sustentable de cero residuos para el manejo del lirio acuático, el cual representa la única materia prima para la producción de composta, lombricomposta, material absorbente y biogás (SECTEI, 2019).

Es por esto que, la plaga ocasionada por el lirio acuático puede remediarse a través de la biotecnología, principalmente mediante aplicaciones de esta planta para la resolución de problemas ambientales, así como, la obtención de beneficios y manejo sustentable del lirio acuático.

Por último, la misión de la licenciatura en Biología menciona que, los biólogos egresados pueden participar en la gestión y conservación de los recursos naturales, lo cual con la ayuda de las aplicaciones biotecnológicas del lirio acuático puede ser posible. Ya que, como se mencionó anteriormente, los usos que esta planta puede tener representan una alternativa para controlar los efectos negativos que afecten el medio ambiente, evitando la degradación ambiental y conservando los recursos naturales.

## Aprendizaje y habilidades obtenidas

- Conocimiento general, operación y mantenimiento de un BAFA.
- Manejo de herramientas y equipo mecánico.
- Conocimiento acerca de la ecología y morfología del lirio acuático.
- Características y estructura de los diferentes reactores.
- Usos y productos del aprovechamiento del lirio acuático.
- Manejo de base datos en excel y búsqueda de literatura.
- Elaboración de reportes.

## Fundamento de las actividades de servicio social

El lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*) es considerada una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo y prioritaria para su control (CONANP, 2012), este se considera una maleza nociva, porque provoca un fuerte impacto al ambiente, la salud y al desarrollo económico y social, además de no tener depredadores naturales en México. Los numerosos intentos de controlarla han fracasado, es por eso que era de suma importancia, tener un aprovechamiento, ya que su erradicación no era posible (IMTA, 1989), una posible solución fue la creación de la biorrefinería donde se le daba un aprovechamiento y se transformaba en composta, lombricomposta y biogás a través del BAFA.

La biotecnología y la hidráulica junto con los procesos bioquímicos tienen una importancia relevante de los sistemas de tratamiento biológico, como los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB). En este sistema los microorganismos actúan degradando los compuestos orgánicos, es importante que ocurra un mezclado entre el afluente y los microorganismos, cabe destacar que el diseño y funcionamiento de un UASB está centrado en el proceso bioquímico (Perez *et al.* 2016).

Uno de los resultantes de los procesos del UASB es el biogás el cual se reproduce a partir de la fermentación a condiciones anacrónicas de la materia orgánica proveniente de desechos líquidos (jugo de lirio) y de otros tipos de desechos orgánicos de origen animal. La importancia de la biotecnología del biogás juega un rol fundamental en el impacto ambiental que tiene en el procesamiento de desechos orgánicos de aguas residuales y domésticas. Por último, el efluente del proceso bioquímico y de biodigestión posee propiedades útiles para la agricultura. (Banguera *et al.* 1997).

Se puede concluir que el aprovechamiento del lirio a través de la biotecnología resulta en un beneficio para el ambiente, favoreciendo el desarrollo de la sustentabilidad, pues la plaga del lirio se podría controlar, además de que sus residuos ayudan al medio ambiente.

## Referencias

- Banguera, P y Arias, L. 1997. Evaluación y Aprovechamiento de Biogás Tipo U.A.S.B de Emcali. Tesis de licenciatura de ingeniero mecánico. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. 97 p.
- Bollas, YM. 2010. Experimentación Piloto del Proceso de Potabilización del Agua de Recarga de la Planta Cerro de la Estrella. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Químico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 93 p.
- Camacho Fidalgo, A.L. 2012. Evaluación de la operación y propuestas de mejora del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del beneficio San Diego de VOLCAFE S.A. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Tecnológico de Costa Rica. 71 pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2012. Protocolo para el Control y Erradicación de Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*). México. 13 p.
- Comisión Nacional del Agua. 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. México. 80 p.
- CONABIO. 2008. Ficha técnica: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Recuperado el 3 de febrero del 2022 de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/pontederiaceae/eichhornia-crassipes/fichas/ficha.htm>.
- CONABIO. 2015. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 1883. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. Recuperado el 3 de febrero del 2022 de: [http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas\\_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO\\_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/D\\_E/Eichhornia%20crassipes.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/D_E/Eichhornia%20crassipes.pdf)
- Divulgación y Tecnologías de la Información. s.f. Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca CIBAC. Recuperado el 3 de febrero de 2022 de: <https://enlacesx.xoc.uam.mx/10/espacios-cibac-jose-antonio-ocampo.html>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1989 Control y Aprovechamiento del Lirio Acuático en México. México 157 p.
- Márquez, M y Martínez, S. A. 2011. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA o UASB) Antología. México, 30 pp.
- Monroy. O., Fama, G., Meraz, M., Montoya, L. y Macarie, H. 2000. Anaerobic Digestion for wastewater treatment in Mexico: state of the technology. Water Research. Vol. 34. No. 6. 1803-1816.
- Perez. M., Aldana, V y Rojano, A., 2016. Evaluación Hidráulica de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) Usando un Modelo de Dispersión Axial. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(3), 281-291.

Ramírez, E. 2021. Diseño y operación de la planta de producción de biogás para el proyecto “Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco” México. 10 p.

SECTEI. 2019. Desarrollo de una biorrefinería para el manejo sostenible de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco. Recuperado el 3 de febrero del 2022 de:<http://www.data.educacion.cdmx.gob.mx/oip/2019/121/35/SECTEI2832019.pdf>

Varnero Moreno, M.A. 2011. Manual de Biogás. FAO. Chile 120 pp