

Application of industrial symbiosis to valorize solid wastes present in wastewater

Aplicación de simbiosis industrial para valorizar residuos sólidos presentes en aguas residuales

Cuevas Rodríguez Germán¹, Díaz Reyes Sofía Jimena², Durán Vargas Juana Beatriz³, Rodríguez Peña Juan Pablo⁴, Torres Hernández Ivanna⁵, Bernal Martínez Arodí⁶

¹Universidad de Guanajuato

german28@ugto.mx¹, sj.diazreyes@ugto.mx², jb.duranvargas@ugto.mx³, jp.rodriguezpena@ugto.mx⁴, i.torreshernandez@ugto.mx⁵, arodiberna@ugto.mx⁶

Resumen

La presente investigación aborda la aplicación de simbiosis industrial como una estrategia sostenible para valorizar los contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. Se enfoca específicamente en el uso de tecnologías basadas en la naturaleza (humedales), donde los procesos de fitorremediación y la simbiosis alga-bacterias generan biomásas que pueden ser aprovechadas como nuevos materiales con valor agregado. Este enfoque aprovecha las propiedades naturales de las plantas, las bacterias y microalgas para absorber, metabolizar y transformar algunos contaminantes presentes en las aguas residuales convirtiéndolos en componentes menos dañinos o inofensivos para el medio ambiente.

Palabras clave: simbiosis industrial, humedales, fitorremediación, microalgas-bacterias.

Abstract

This research addresses the application of industrial symbiosis as a sustainable strategy to valorize organic pollutants present in wastewater. It focuses specifically on the use of nature-based technologies (wetlands), where phytoremediation processes and algae-bacteria symbiosis generate biomasses that can be exploited as new value-added materials. This approach takes advantage of the natural properties of plants, bacteria and microalgae to absorb, metabolize and transform some pollutants present in wastewater into less harmful or harmless components for the environment.

Key words: industrial symbiosis, wetlands, phytoremediation, microalgae-bacteria.

Introducción

En la búsqueda constante por promover prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente, en el presente proyecto se propone la implementación de una aplicación innovadora de simbiosis industrial que se centra en la valorización de contaminantes presentes en los caudales de aguas residuales crudas. El enfoque principal de esta investigación se dirige específicamente en el uso de humedales superficiales y las asociaciones de algas-bacterias como tecnologías clave para el tratamiento de aguas residuales generadas en un edificio educativo con un enfoque de economía circular (recuperación de subproductos con alto valor agregado), la cual tiene como objeto cerrar el ciclo con el objeto de encaminarnos hacia un manejo más sostenible de los recursos hídricos.

El incremento de la urbanización y el desarrollo humano han generado un aumento en la generación de aguas residuales, que a menudo contienen una variedad de contaminantes, incluyendo contaminantes orgánicos e inorgánicos. Estos contaminantes, si no se tratan adecuadamente, pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública. Es aquí donde la implementación de soluciones eco-amigables, como los

humedales superficiales y asociación algas-bacterias, juegan un papel fundamental en el desarrollo de tecnologías sostenibles.

En este contexto, este proyecto busca abordar dos desafíos principales: en primer lugar, buscar una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los edificios de nuestra escuela y, en segundo lugar, valorizar las corrientes de aguas residuales, transformándolos de residuos a recursos. Lo cual está siendo impulsado por diferentes organismos internacionales para impulsar y contribuir en la gestión sustentable de los recursos hídricos en nuestra sociedad.

El enfoque de simbiosis industrial, que implica la colaboración entre diferentes componentes del ecosistema, resulta altamente prometedor para abordar problemáticas medioambientales complejas. En este proyecto, se busca demostrar la eficacia de esta estrategia en el tratamiento de aguas residuales y la promoción de un ciclo virtuoso de aprovechamiento de recursos, a través de la valorización de biomasa que pueden servir como alimento de las diferentes especies que componen los ecosistemas, impulsado así la economía de sectores como son la acuicultura, la agricultura, la porcicultura, la bioenergía entre otros.

A través de esta iniciativa, se pretende no solo mejorar la calidad del agua liberada por el edificio de nuestra escuela, sino también sentar un precedente para futuras implementaciones de sistemas de simbiosis industrial en otros entornos urbanos. De esta manera, aspiramos a fomentar la adopción de prácticas sostenibles y eco-responsables, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y el bienestar de la comunidad educativa y la sociedad en general.

Objetivos específicos

a. Humedal 1

- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales provenientes de un biodigestor anaerobio que trata aguas residuales crudas generadas en un edificio educativo.
- Evaluar la tratabilidad de las aguas residuales pretratadas en un biodigestor anaerobio mediante el empleo de 3 humedales flotantes plantados con *Canna Indica*.
- Valorizar la biomasa de *Canna Indica* generada en el proceso de tratamiento.

b. Humedal 2

- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales provenientes de un humedal flotante sembrado con *Canna Indica*.
- Evaluar la tratabilidad de las aguas residuales tratadas en un humedal flotante sembrado con *Canna Indica* aplicando un biorreactor con un consorcio de microalgas-bacterias.
- Cuantificar y valorizar la biomasa de microalgas-bacterias generadas en el proceso de tratamiento.

c. Humedal 3

- Evaluar la tratabilidad de un efluente proveniente de un biorreactor con microalga-bacteria aplicando un humedal superficial sembrado con *Lemna Sp.*
- Evaluar la producción de biomasa de *Lemna Sp.*
- Generar propuestas de aprovechamiento de la biomasa de *Lemna Sp.*

• Metodología

a. Unidad Experimental

La investigación se llevó a cabo dentro de la instalación de los laboratorios de la Perlita por un periodo de 6 semanas en una planta de tratamiento compuesta de humedales que trabaja con agua residual domestica previamente tratada por un biodigestor. La planta está constituida por tres operaciones unitarias, la primera se compone de tres humedales subsuperficiales (humedal 1), el segundo sistema está conformada por un humedal superficial (humedal 2) y la tercera fase está constituida por un humedal superficial (humedal 3). De la planta se obtiene agua tratada y subproductos de valor agregado, en el Humedal 1 (biomasa de *Canna Indica*), en el Humedal 2 (biomasa de microalgas) y en el Humedal 3 (biomasa de *Lemna Sp*).

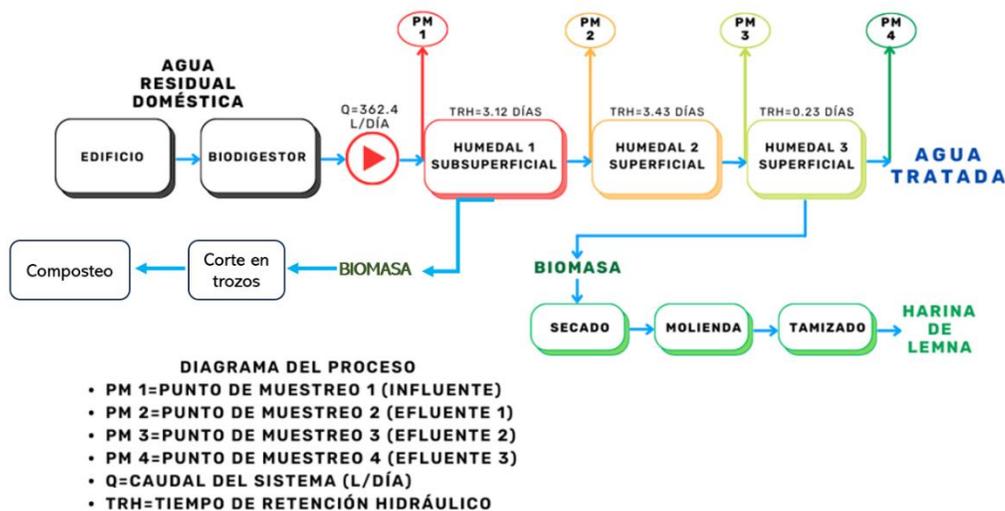


Figura 1. Diagrama del proceso.



Figura 2. Planta artificial en operación.

a. Humedal 1

El primer humedal se constituye por 3 tanques (Rotoplas) con un volumen aproximado de 620 litros el cual funciona como primer filtro, este recibe el agua residual proveniente de los baños de la Universidad de

Guanajuato, estos humedales funcionan para eliminar contaminantes en el agua residual y su impacto con el medio ambiente sea menor. Cada uno cuenta con un filtro de pelo de cerdo para evitar las plagas y los malos olores. En él hay una planta de la especie *Canna Indica* la cual se alimenta a base de esta agua y luz solar. (Figura 3).



Figura 3. Humedales que contienen *Canna Indica*

Durante nuestra estancia en el verano de la ciencia esta planta creció y tuvimos que podarla, con las hojas que cortamos las utilizamos para hacer una composta. En la figura 4 se muestra la biomasa en los humedales empleados en a investigación.



Figura 4. a) Obtención de composta, b) Poda de la planta *Canna Indica*.

b. Humedal 2



Figura 5. Tina de fibra de vidrio con microalga

El funcionamiento del segundo humedal superficial que tenemos en la planta piloto se basa en una tina de fibra de vidrio de 880 litros de capacidad que contiene microalgas, que funcionan como sistema con biomasa en suspensión para la remoción de contaminantes presentes en agua doméstica. Este método aprovecha las propiedades naturales de los consorcios microalgas-bacterias las cuales, a través de operaciones físicas, procesos químicos y biológicos absorber, metabolizar y transformar ciertos contaminantes, convirtiéndolos en componentes menos dañinos o inofensivos, además de generar biomasa con alto valor agregado y agua residual tratada. En la figura 5 se puede observar el humedal utilizado en la planta piloto.

c. Humedal 3

Para la construcción del humedal 3 usamos un contenedor con un volumen total de aproximadamente 102 L y un volumen efectivo de 0.0761 m³ que se unió al humedal superficial 2 y se dejó llenando con el agua del efluente 2 por 24 horas aproximadamente (Figura 6, a). Cuando el contenedor se llenó de agua de la tina con microalgas se procedió a recolectar el 80% de *Lemna Sp.* de un cultivo ya establecido en la Perlita que es alimentado con agua doméstica diluida al 50% (Figura 6, b). La *Lemna Sp.* recolectada se cultivó en el contenedor y esperamos 24 horas aproximadamente para empezar a caracterizar el agua (Figura 6, c).

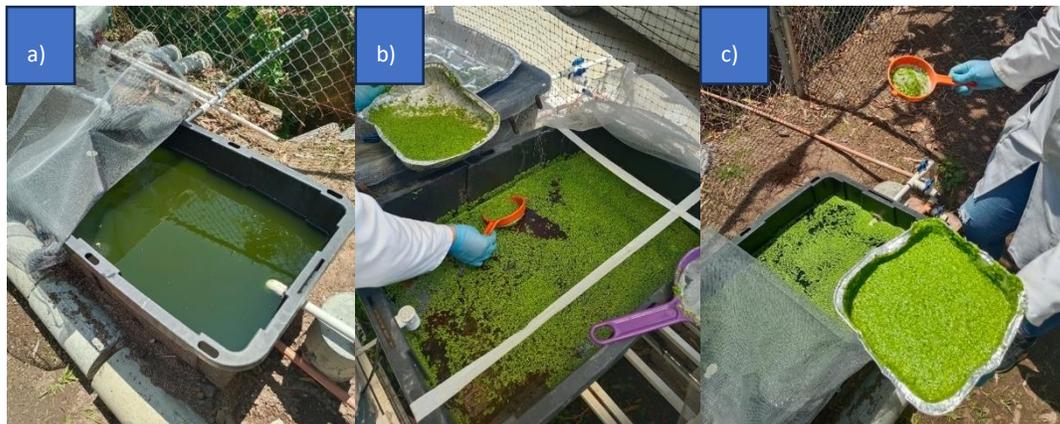


Figura 6. a) Contenedor llenándose con agua del efluente 2. b) Recolección del 80% de *Lemna Sp.* de cultivo establecido. c) *Lemna Sp.* cultivada en el humedal 3.

Para la obtención de biomasa generada se produjo harina de *Lemna Sp.* con el 10% de lenteja de la superficie, se secó y se molió en un mortero hasta obtener un polvo muy fino (Figura 7). Estos resultados fueron utilizados para cuantificar el porcentaje de proteína, cenizas, porcentaje de humedad, porcentaje de ST y porcentaje de SV, con el objetivo de conocer porcentaje de biomasa que puede utilizarse como alimento para animales.

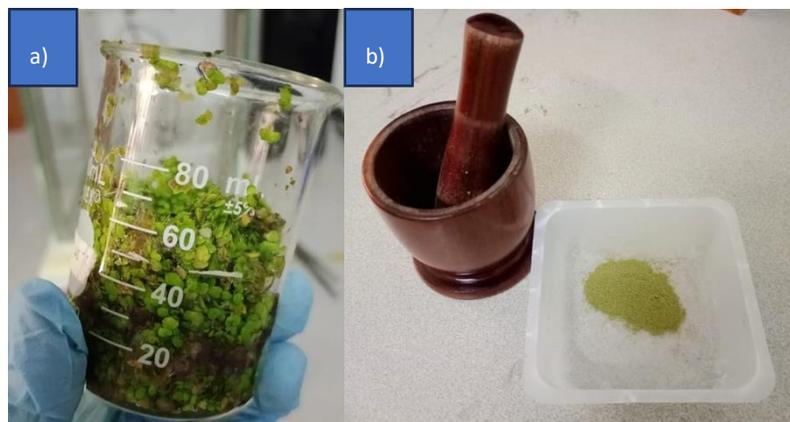


Figura 7. a) Recolección de *Lemna Sp.*, b) Obtención de harina de *Lemna Sp.*

d. Parámetros de operación

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros de operación de cada uno de los sistemas evaluados, volumen (V), caudal (Q) y tiempo de retención hidráulico (TRH). A continuación, se muestra en la tabla 1 los datos de operación del sistema de humedales propuesto.

Tabla 1. Datos de operación del sistema.

Parámetro	Volumen (L)	Caudal promedio (L/día)	TRH (días)
Humedal 1	620		3.12 días
Humedal 2	880	252.7 ± 76.8	3.14 días
Humedal 3	76.2		0.23 días

e. Análisis

Los análisis que se hicieron para caracterizar el agua de la planta artificial se realizaron en diferentes puntos de todo el sistema; el influente del humedal 1 (PM1), el efluente 1 del humedal 2 (PM2), el efluente 2 del humedal 2 (PM3) y el efluente 3 del humedal 3 (PM4). Estos datos se analizaron con el objetivo de conocer la calidad del agua y los porcentajes de remoción de contaminantes en cada humedal. En tabla 2 se muestran los parámetros analizados y los métodos de medición.

Tabla 2. Parámetros analizados del sistema.

Parámetro	Método analítico	Equipo o reactivo
pH	Electrodo	Hanna Instruments Medidor
Temperatura (°C)	Electrodo	Hanna Instruments Medidor
Conductividad (µs/cm)	Electrodo	Thermo Scientific Orion 4 Star
SST (mg/L)	Gravimétrico	Estufa y mufa
DQO (mg/L)	Digestión con K ₂ Cr ₂ O ₇	Espectrofotómetro DR 900
NTK(mg/L)	Digestión y destilación	SpeedDigester y Kjeldahl Sampler System
NH ₃ (mg/L)	Destilador	Kjeldahl Sampler System
PO ₄ (mg/L)	Espectrofotométrico	Molibdovanadato

Resultados

a. Parámetros de operación promedio

En la tabla 3 se resumen los valores promedio de los parámetros de operación monitoreados en cada sistema y al largo de toda la operación de la planta.

Tabla 3. Parámetros de operación promedio.

Muestra	pH	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Influyente	6.9 ± 0.42	2920 ± 141	24.7 ± 1.02
Efluente 1	7.8 ± 0.3	2271.5 ± 34	26.5 ± 1.5
Efluente 2	8.6 ± 0	1929 ± 39.8	21.17 ± 0.4
Efluente 3	8.5 ± 0.2	1941.7 ± 55.9	22.6 ± 2.47

b. Humedal 1

El humedal 1 consta de 3 Rotoplas con capacidad de 620 Litros los 3. Todos contienen una planta de la especie *Canna Indica*, esta planta es alimentada por las aguas residuales provenientes de un biodigestor anaerobio que trata las aguas residuales provenientes de un edificio educativo de la universidad de Guanajuato. En la tabla 4 se muestra la composición de las aguas residuales que entran al humedal, así como los efluentes de aguas residuales tratadas. En ella se pueden también observar los porcentajes de eliminación alcanzados en esta parte del proceso.

Tabla 4. Parámetros y concentraciones detectada en el humedal con plantas flotantes.

Parámetro	Influyente	Efluente 1	Remoción
SST (mg/L)	1.46	0-03	:
DQOs (mg/L)	495.53	438.15	11.8%
NTK (mg/L)	206.0	187.4	8.6%
NH3 (mg/L)	199.17	185.4526	12.37%
PO4 (mg/L)	32.5	22.36	31%
COT (mg/L)	213.5	148.3	30%

En las tablas 5 y 6 se observan la composición porcentual de la biomasa generada, así como los porcentajes de composición del tallo y hojas. Se observa que, ambas partes de la planta, tienen un alto contenido de agua y compuestos volátiles. El contenido mineral de la biomasa medido como cenizas fue bajo (2.6%).

Tabla 5. Composición porcentual de biomasa seca *Canna Indica*.

Tallo	Porcentaje
Agua	79%
Volátiles	18.4%
Ceniza	2.6%

Tabla 6. Composición porcentual de la biomasa seca de *Canna Indica*

Muestra	Proteína %	Humedad %	Cenizas %	ST %	SV %
<i>Canna Indica</i>					
(Hoja)	20.4	79	2.6	20.01	18.07

c. Humedal 2

En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados promediados de los parámetros medidos en el influente y efluente del biorreactor evaluado. En la tabla 7 se muestran los porcentajes de sólidos y en la tabla 8 los valores de los parámetros de operación utilizados durante el periodo experimental. Se observa que el TRH pH en el sistema está muy cercano a 8, mientras que el manejo estuvo muy cercano a los 3.2 días (76.8 horas).

Tabla 7. Porcentaje de ST y SV en muestra sólida recolectada en el biorreactor con microalgas.

ST%	SV%
0.088566102	0.06351958

Tabla 8. Promedio de los parámetros de calidad de agua muestreados en el efluente del bioreactor con microalgas-bacterias.

Caudal	280.032 litros/ día N= 7
TRH	3.14 días
pH	7.8 N=7

Temperatura	26.5°C N=7
Conductividad	2271.5 N=7
ST (mg/l)	0.725 N=6
SV (mg/l)	0.48 N=6
SF (mg/l)	0.245 N=6
SST (mg/l)	0.03 N=6
SSF (mg/l)	0.01 N=6
SSV (mg/l)	0.02 N=6
COT	148.4mg/l N=1
DQOS (mg/l)	438.15 N=12
PO ₄ ⁻³	22.36 mg/l N=4
NH ₃	185.4526 N=2
NTK	187.6938 N=2

d. Humedal 3

Se instaló el humedal superficial 3 dos semanas previas al cierre del Verano de Investigación, por lo cual, los datos obtenidos no son suficientes para una completa evaluación del sistema. Ya que, además se estuvo observando que, durante el poco tiempo del cultivo de la *Lemna Sp.*, algún compuesto químico en el agua residual afectó al crecimiento de la *Lemna Sp.*, ya que, empezó a disminuir progresivamente y se solubilizó.

Sin embargo, monitorearon los parámetros de pH, temperatura, conductividad y se realizaron análisis de SST, NTK, N-NH₃, DQO y la biomasa también se analizó. La concentración de SST en el Efluente 2 (115 ± 8.7 mg/L) es removida a 112.5 ± 3.5 mg/L lo que indica que hubo un 2.2% de remoción.

La concentración de DQOs en el Efluente 2 (211.3 ± 8.7 mg/L) incrementa a 256.21 ± 8.6 mg/L lo que indica que no hubo remoción, sino que, aumentó la concentración la materia orgánica soluble, esto puede deberse por la muerte de la *Lemna Sp.*, ya que algún compuesto tóxico impide el crecimiento de la misma.

La concentración de NTK en el Efluente 2 (157.4 mg/L) es removida a 139.2 ± 21.4 mg/L lo que indica que hubo un 11.6% de remoción. La concentración de NH₃ en el Efluente 2 (147.9 mg/L) es removida a 137.4 ± 33.5 mg/L lo que indica que hubo un 6.4% de remoción. Un resumen de todos estos valores detectados en el humedal con plantas flotantes (*Lemna Sp.*) se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Comparación de parámetros analizados del Efluente 2 con el Efluente 3 y sus porcentajes de remoción.

Parámetros	Valores de Efluente 2	Valores de Efluente 3	Remoción %
SST (mg/L)	115 ± 8.7	112.5 ± 3.5	2.2
DQOs (mg/L)	211.3 ± 8.7	256.21 ± 8.6	-26.5
NTK (mg/L)	157.4	139.2 ± 21.4	11.6
NH3 (mg/L)	147.9	137.4 ± 33.5	6.4

En la tabla 10 se puede observar un análisis de harina de *Lemna Sp.* En la cual se presenta un 36.6% de proteína por cada gramo de biomasa seca que se obtiene. Tiene un nivel de humedad alto (96.7%), los porcentajes ST y SV son muy bajos, pero podemos suponer que se debe a que la *Lemna Sp.* ha disminuido por la presencia de algún compuesto químico en el agua.

Tabla 10. Composición porcentual de la biomasa seca de Lemna Sp.

Muestra	Proteína %	Humedad %	Cenizas %	ST %	SV %
Lemna Sp	36.6	96.7	69.61	3.3	0.6

La *Lemna Sp.* en buen estado puede considerarse para sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que, absorbe y metaboliza nutrientes y contaminantes, lo que ayuda a reducir la carga de nutrientes en el agua, esto también aporta mucho dentro de la biorremediación, ya que, tiene la capacidad de limpiar y descontaminar cuerpos de agua contaminado. Además de esto, algunas especies de *Lemna Sp.* son utilizadas como alimento para animales por su importante contenido de proteína.

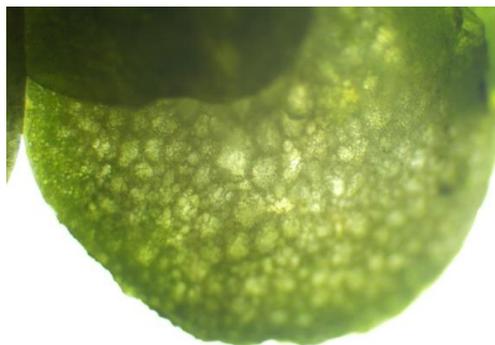


Figura 8. Muestra de *Lemna Sp.* en microscopio.

Los resultados de la investigación suponen que la especie de microalga en el humedal 3 contiene en mayor parte microalga *Chrorella Sp.* por su gran parecido con esta especie. A continuación, se muestran dos imágenes; la del lado izquierdo es imagen bibliográfica de *Chrorella Sp.* y del lado derecho se observa una imagen que se obtuvo con el microscopio de una muestra del Efluente 3 en el laboratorio La Perlita. A continuación, se muestran una imágenes comparativas (Figura 9):

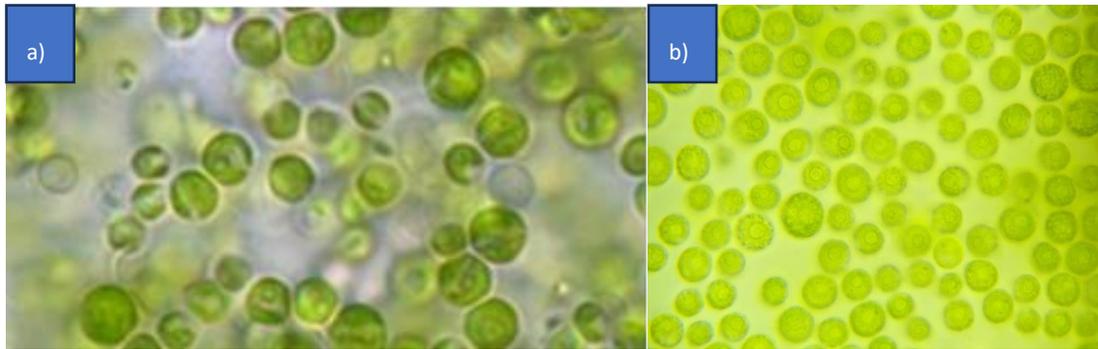


Figura 9. a) *Chrolorella Sp.* (Benavente Valdés et al., 2016), b) Muestra de Efluente 3 en microscopio.

También podemos suponer que dentro del humedal 3 hay microalga *Dunaliella Sp.* A continuación, se muestran dos imágenes; la del lado izquierdo es imagen bibliográfica de *Dunaliella Sp.* y del lado derecho se observa una imagen que se obtuvo con el microscopio de una muestra del Efluente 3 en el laboratorio La Perlita.

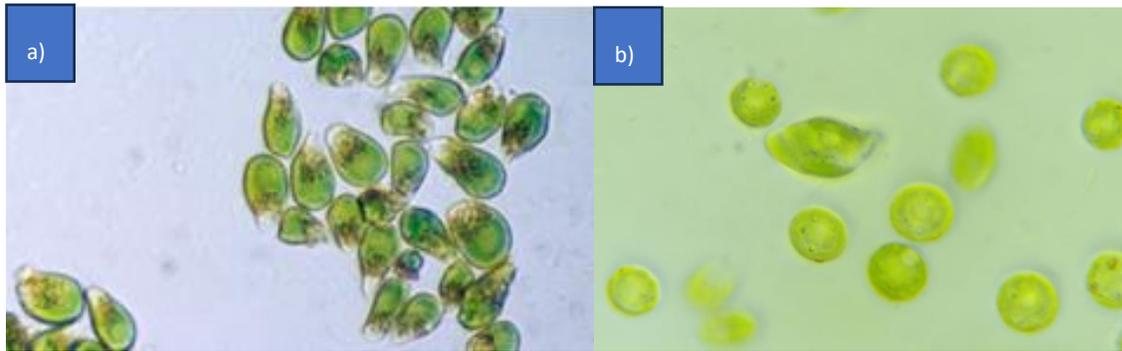


Figura 10. *Dunaliella Sp.* (Benavente Valdés et al., 2016), b) Muestra de Efluente 3 en microscopio.

Discusión y Conclusiones

a. Humedal 1

- Gracias a este modelo se puede prevenir la contaminación en cuerpos de agua
- Se pueden obtener subproductos
- Apoya la economía circular
- Sirve como refugio para varios insectos.

Este humedal proporciona un espacio donde varias especies animales pueden vivir, previene enfermedades al remover materia orgánica y nutrientes. Este modelo puede ser muy importante debido a el aprovechamiento que se puede tener en base a este, en nuestro caso la planta *Canna Indica* al crecer debe ser podada y esa materia podría ser utilizada para realizar composta., El producto final de la composta podría ser utilizado como mejorador de suelo en cultivos, este modelo podría ayudar como sustituto de la compra de composta, ya que aunque se requiere una inversión inicial, es sostenible a largo plazo, no requiere mucho mantenimiento y es estéticamente bonita. Las hojas de esta planta también son utilizadas para hacer tamales y ya que en nuestro país se consume este producto, se sabe que el gasto de agua para regar y producir esta planta existe y con este modelo podría disminuir. Este modelo forma parte de la economía circular, ya que utilizando un residuo se logra obtener un producto y disminuye la huella ecológica.

b. Humedal 2

En conclusión, el humedal superficial basado en una tina con microalgas para la valorización de residuos sólidos presentes en aguas residuales ha demostrado ser una solución prometedora y sostenible para la remoción de contaminantes en agua doméstica y otras fuentes de agua. Aprovechando las propiedades naturales de las microalgas a través del proceso de fitorremediación, hemos logrado transformar ciertos contaminantes en componentes menos dañinos, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua y la protección del medio ambiente.

Este proyecto no solo ha demostrado su efectividad en el tratamiento de agua doméstica, sino que también ha proporcionado valiosas lecciones y pautas para la implementación de humedales superficiales basados en microalgas en otros contextos industriales o municipales. La tecnología de fitorremediación con microalgas ofrece una alternativa natural y amigable con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales, lo que puede contribuir significativamente a la conservación del recurso hídrico y la reducción de la contaminación en nuestros ecosistemas.

c. Humedal 3

La implementación del humedal 3 en la planta no es factible, ya que, el agua residual contiene algún compuesto químico que afectó al crecimiento de la *Lemna Sp.* y esto impide el desarrollo de la misma.

No obstante, si la *Lemna Sp.* hubiera estado en condiciones favorables, se podría obtener como subproducto agregado la harina de *Lemna Sp.* que es rica en proteína. Esto aporta mucho dentro de los ODS, porque puede implementarse en el ODS 1: Fin de la Pobreza; ya que, la harina de *Lemna Sp.* puede usarse como alimento para animales de engorda. Además, este tipo de sistema se puede implementarse en diversas comunidades con el objetivo que reducir los contaminantes en aguas residuales que pueden afectar la salud de las personas que no tienen acceso a una red de alcantarillado, promoviendo el ODS 6: Agua limpia y saneamiento.

Bibliografía/Referencias

- Wong-Argüelles, C., Carranza-Álvarez, C., Alonso-Castro, A. J., & Ilizaliturri-Hernández, C. A. (2021). Fitorremediación In Situ En México: Una Revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 133-133.
- Assunção, J., & Malcata, F. X. (2020). Enclosed "non-conventional" photobioreactors for microalga production: A review. *Algal Research*, 52, 102107.
- Oliveira, C. Y. B., Oliveira, C. D. L., Prasad, R., Ong, H. C., Araujo, E. S., Shabnam, N., & Gálvez, A. O. (2021). A multidisciplinary review of *Tetrademus obliquus*: a microalga suitable for large-scale biomass production and emerging environmental applications. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1594-1618.
- Zarrinmehr, M. J., Farhadian, O., Heyrati, F. P., Keramat, J., Koutra, E., Kornaros, M., & Daneshvar, E. (2020). Effect of nitrogen concentration on the growth rate and biochemical composition of the microalga, *Isochrysis galbana*. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(2), 153-158.
- Ekperusi, A. O., Sikoki, F. D., & Nwachukwu, E. O. (2019). Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, 223, 285-309.
- Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. A. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15806-15814.
- Vacca Jimeno, V. A., Angulo Mercado, E. R., Puentes Ballesteros, D. M., Torres Yépez, J. G., & Plaza Vega, M. E. (2017). Uso de la microalga *Chlorella sp.* viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil/Using the microalgae *Chlorella sp.* live suspended in decoloration wastewater from a textile factory. *Prospectiva*, 15(1), 93-99. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i1.829>
- *Microalgas, una innovadora fuente de colorantes.* (2016, junio 21). *CienciAcierta*. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/21/microalgas-una-innovadora-fuente-de-colorantes/>