



ISSN 2448-508X

# KUXULKAB'

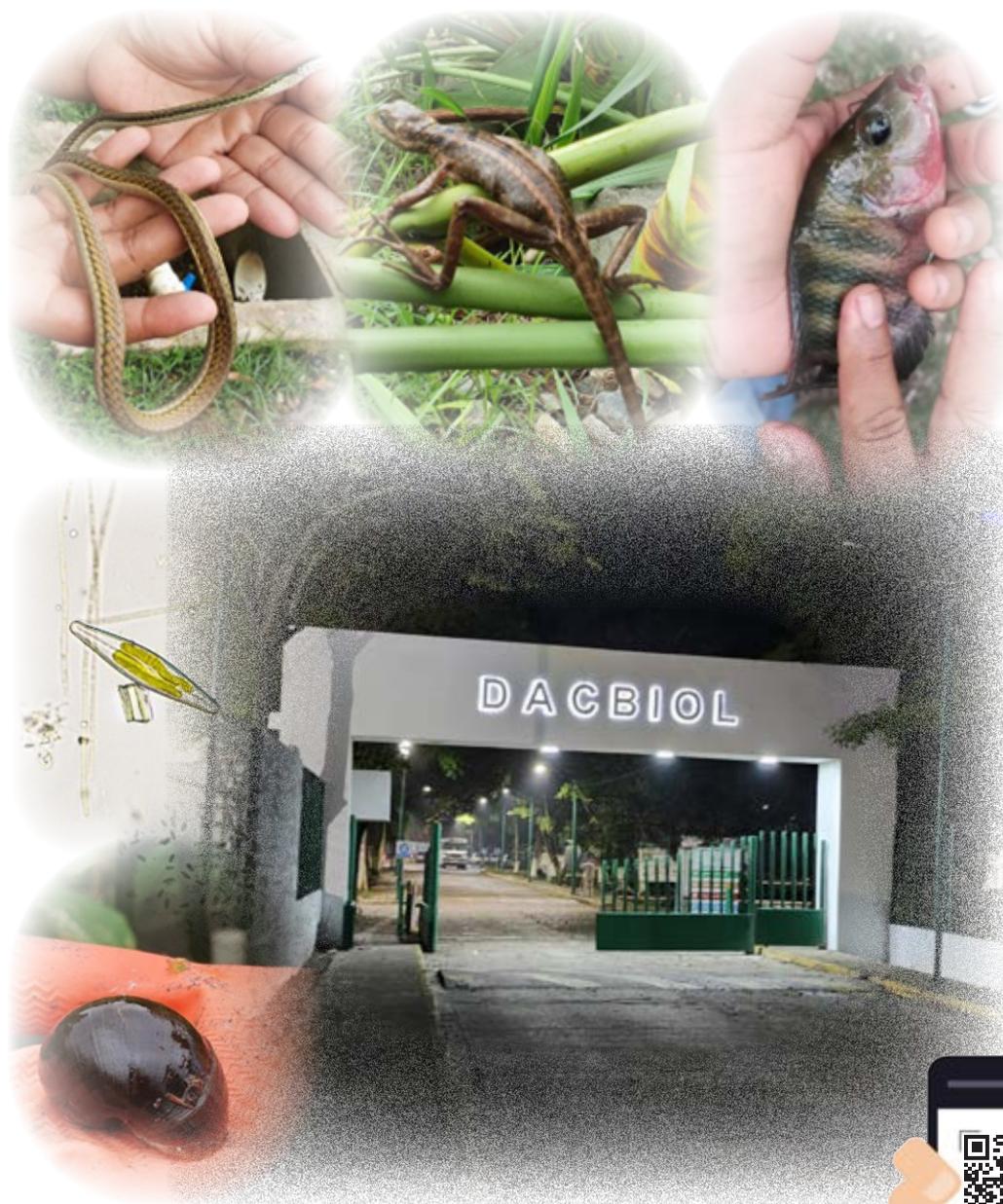
-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen 30

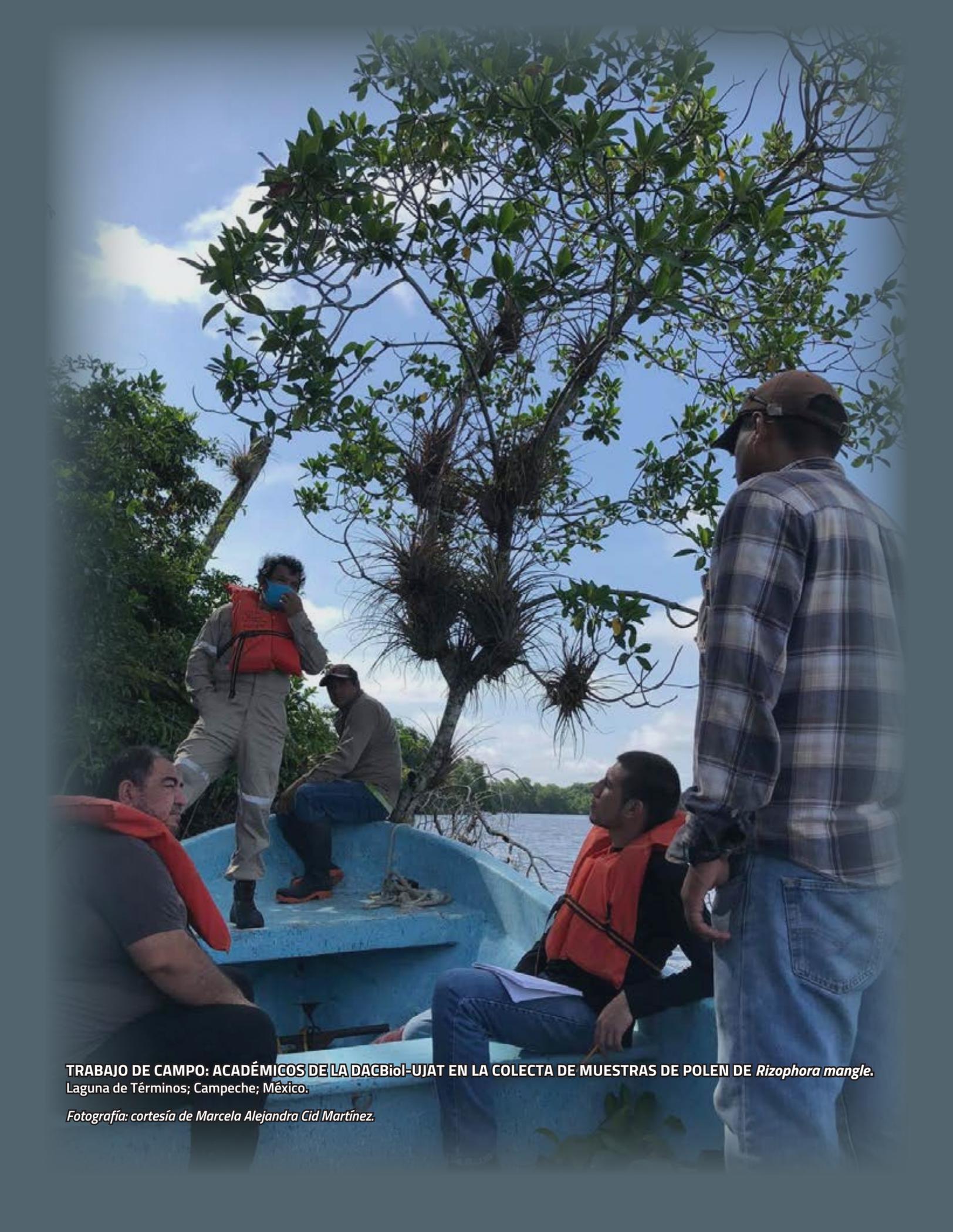
Número 67

Mayo-Agosto 2024

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
División Académica de Ciencias Biológicas



« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »



**TRABAJO DE CAMPO: ACADÉMICOS DE LA DACBioI-UJAT EN LA COLECTA DE MUESTRAS DE POLEN DE *Rizophora mangle*.**  
Laguna de Términos; Campeche; México.

*Fotografía: cortesía de Marcela Alejandra Cid Martínez.*

## INDICADORES Y BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES ARTIFICIALES: CASO DE ESTUDIO EN CENTRO, TABASCO

### INDICATORS AND BIOINDICATORS OF WATER QUALITY IN ARTIFICIAL WETLANDS: CASE STUDY IN CENTRO, TABASCO

**Gaspar López Ocaña<sup>1✉</sup>, Marilyn Calderón Miranda<sup>2</sup>, Bernardita Campos Campos<sup>3</sup> & Manuel Pérez de la Cruz<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Tecnología del Agua; <sup>2</sup>Laboratorio de Colecciones: colección de insectos; <sup>3</sup>Laboratorio de Ecología y Conservación Tropical. Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ ocanagl77@hotmail.com

 <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8402-8160>  <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0886-3025>

<sup>1</sup>Profesor-Investigador y responsable del Laboratorio de Tecnología del Agua; integrante del Cuerpo Académico de Ingeniería y Tecnología Ambiental, especialidad en Ingeniería Ambiental y Tecnología del Agua en la DACBiol-UJAT. <sup>2</sup>Estudiante de Licenciatura en Biología y colaboradora en la colección de insectos de la DACBiol-UJAT. <sup>3</sup>Profesora-Investigadora de la DACBiol-UJAT y colaboradora del Laboratorio de Ecología y Conservación Tropical, especialidad en protozoos, algas y briofitas. <sup>4</sup>Profesor-Investigador de DACBiol-UJAT y responsable del Laboratorio de Colecciones: colección de Insectos, especialidad Entomología.

#### Resumen

La DACBiol-UJAT cuenta con cárcamo-cisterna y dos trenes (T1 y T2) con tres humedales en serie de flujo subsuperficial con *Potenteria cordata*, de flujo libre con *Thalia geniculata* y un segundo de flujo libre con *Sagittaria lancifolia*. La eficiencia de remoción de DQO en ambos trenes fue del 98 %. *Sagittaria lancifolia* demostró mejor desempeño en el T1 y *Thalia geniculata* en el T2. Las tres especies son de fácil mantenimiento y eficientes en la remoción de contaminantes básicos y los humedales con *Sagittaria lancifolia* presentan el mayor número de organismos que se consideran bioindicadores en los humedales artificiales.

**Palabras clave:** Aguas residuales; Macrófitas; Demanda química de oxígeno; Eficiencia de remoción; Cumplimiento ambiental.

#### Abstract

The DACBiol-UJAT has a sump-tank and two trains (T1 and T2) with three wetlands in series of subsurface flow with *Potenteria cordata*, free flow with *Thalia geniculata* and a second free flow with *Sagittaria lancifolia*. The COD removal efficiency in both trains was 98 %. *Sagittaria lancifolia* showed better performance in T1 and *Thalia geniculata* in T2. The three species are easy to maintain and efficient in removing basic contaminants and wetlands with *Sagittaria lancifolia* present the greatest number of organisms that are considered bioindicators in artificial wetlands.

**Keywords:** Wastewater; Macrophytes; Chemical oxygen demand; Removal efficiency; Environmental compliance.



DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n67.5983>

URL: <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/5983>

El mayor problema que hoy enfrenta la humanidad es la disponibilidad del agua para actividades básicas como el consumo humano (higiene y alimentación) y diversas actividades antropogénicas (agricultura, ganadería e industria), siendo más crítico en algunas regiones por el cambio climático y el crecimiento poblacional, sobre todo en países en vías de desarrollo por la falta de tratamiento adecuado a las aguas residuales (AR) provenientes de estas actividades (OMS, 2022). En ese sentido hoy se aplica la tecnología de los humedales artificiales (HA) para el tratamiento de AR domésticas e industriales, pues presentan bajos costos, no requieren sustancias químicas para eliminar los contaminantes, eliminan malos olores, presentan mínima emisión de gases de efecto invernadero, son estéticos, de operación y mantenimiento sencillos, tienen un mínimo consumo de energía eléctrica y se aplican en zonas rurales y urbanas (CONAGUA, 2019).

### Los humedales artificiales

Los humedales artificiales (HA) son tratamientos de aguas residuales ecológicos que combinan procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para simular a los humedales naturales y deben ser bien administrados para una exitosa operación. De acuerdo con la circulación del agua pueden ser humedales de flujo superficial o libre (HAFL), donde el agua circula por entre los tallos de las macrófitas y humedales de flujo subsuperficial (HAFS), cuando el agua circula por debajo de un medio de soporte, pudiendo ser la dirección del flujo en este horizontal o vertical (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade, 2010).

Las plantas son el principal componente en los HA favoreciendo la eliminación de contaminantes, los otros elementos de importancia son el medio de soporte o filtrante y los microorganismos. Los mecanismos de remoción y transformación de contaminantes en los HA son la bioconversión bacteriana (anaerobias y facultativas), filtración, sedimentación, nitrificación/desnitrificación, asimilación vegetal (por las raíces), remoción de patógenos, predación y excreción de antibióticos por las raíces de las plantas (Crites & Tchobanoglous, 2004).

### Aplicaciones de la tecnología

En Colombia, Carvajal *et al.* (2017), muestran que la eficacia de la AVECILLA (*Heliconia psittacorum*) es mayor (79 %) que el Bambú común (*Bambusa* sp) (73 %) en HA. El afluente presentó 768 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO), el HAFS con Bambú disminuyó la concentración a 288 mg/L y la AVECILLA a 44.8 mg/L. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el afluente fue de 446 mg/L y con el Bambú alcanzó 186 mg/L y la planta de control de 24 mg/L; los sólidos suspendidos totales (SST) en el afluente fue de 1407.5 mg/L, el Bambú de 557.5 mg/L y la AVECILLA de 516.25 mg/L. Entre los parámetros físicos, en el afluente el color y turbidez fue de 688 y 235 unidades, respectivamente, el HA con Bambú aumento las concentraciones a 3,976 y 920 en ambos parámetros, mientras que con la AVECILLA disminuyo a 247 y 97.7 unidades respectivamente.

Maitlo, Kandhro, Karim, Sttar y Qayoom (2018), implementaron en Pakistán un HAFS con Carrizo (*Phragmites australis*) durante un año, reduciendo eficientemente la DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, turbidez, fosfato total (P<sub>T</sub>), nitrógeno total (N<sub>T</sub>) de las aguas residuales, que fue aproximadamente 92.3 %, 93 %, 96 %, 96.4 % y 74 %, respectivamente. Con un caudal promedio (Q<sub>med</sub>) de 3 m<sup>3</sup>/día y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 7.4 días.

En Centro, Tabasco, se evaluaron dos HAFL y dos HAFS con Popal (*T. geniculata*) y Camalote (*P. paniculatum*) en el tratamiento de aguas residuales sanitarias de la Institución Universitaria. El Q<sub>med</sub> de tratamiento fue de 400 L/d con un TRH de 6.5 a 7.5 días. El mejor tratamiento fue el HAFS con Popal con valores de efluente de 9.74 mg/L de SST, 2.37 mg/L de N<sub>T</sub>, 0.43 mg/L de P<sub>T</sub> y 27.76 mg/L de DBO<sub>5</sub>. El HAFL con Camalote reportó en el efluente 19.97 mg/L de SST, 4.84 mg/L de N<sub>T</sub>, 0.86 mg/L de P<sub>T</sub> y 56.93 mg/L de DBO<sub>5</sub> (Jiménez *et al.*, 2017).



Otro estudio en Villahermosa, Tabasco, evaluó las especies Cola de golondrina (*Sagittaria latifolia*) y Cola de pato (*Sagittaria lancifolia*) en nueve HAFL, tres sin vegetación (HAFL-Control), tres con Cola de pato (HAFL-S-Lan) y tres con cola de golonfrina (HAFL-S-Lat), tratando aguas residuales sanitarias de la DACBiol. Las unidades experimentales utilizadas son de 2.5 m de largo, 1.2 m de ancho y un tirante operativo de 0.5 m, con medio de soporte de grava de río de entre 2.36 y 19 mm de diámetro, con espesor de 10 cm. Todas las unidades operaron con un  $Q_{med}$  de 0.26 m<sup>3</sup>/d y un TRH de 6 días. Las eficiencias de remoción alcanzadas con Cola de golondrina para SST, DBO<sub>5</sub>, DQO y Coliformes fecales (CF) fue de 94, 97, 96 y 99 %, respectivamente, mientras que para Cola de pato fue de 97, 94, 93 y 99.9 %, respectivamente. (Gallegos, López, Bautista & Torres, 2018).

### La institución universitaria

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) es un campus comprometido con la conservación del medio ambiente y mantiene un control de sus desechos con un compromiso riguroso al estar en un proceso constante de auditoría ambiental por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), del cual ha tenido el distintivo de Certificación Ambiental (2015-2018), siendo la única universidad en México en tener este nombramiento (PROFEPA, 2015).

La DACBiol mantuvo el tratamiento de sus aguas residuales de 2005 a 2016 mediante planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con tecnología de Coagulación floculación y filtración con zeolita, operando con un  $Q_{med}$  de 40 m<sup>3</sup>/día y la institución generaba un  $Q_{med}$  de 190 m<sup>3</sup>/día, quedando rebasada y presentando una remoción de sus contaminantes desde -108% a 86% (López *et al.*, 2013), las eficiencias negativas son cortos circuitos por el alto caudal que disminuye el TRH de la PTAR (Vázquez & López, 2011).

Para el año 2016, se inició la construcción y en el 2017 se arrancó la operación de la nueva PTAR de HA el cual consta de una cisterna rehabilitada para operar como Tanque séptico y dos trenes (dos módulos gemelos) de tratamiento de HA en serie con un HAFS y dos HAFL. La Figura 1 muestra cómo queda integrada la Planta Piloto de Humedales artificiales del Laboratorio de Tecnología del Agua y la PTAR de la DACBiol (López *et al.*, 2021).

Romellón, Estrada & López (2022), reportan que para octubre de 2021 la DACBiol operó en modelo híbrido por la contingencia sanitaria COVID 19. En este periodo el AR con la que operó el tren 1 fue de 6.4 m<sup>3</sup>/día y el tren 2 con 6.5 m<sup>3</sup>/día. El TRH de ambos módulos fue de 3.14 días y la remoción de DQO fue de 76.7 % en el tren 1 y de 70.7 % en el tren 2, cumpliendo la NOM-001-SEMARNAT-2021 que es de 100 mg/L para la infiltración o descarga al suelo. Las constantes cinéticas de reacción (K) para el tren 1 se estimaron en 0.49 días<sup>-1</sup> para color, 0.53 días<sup>-1</sup> para turbiedad y en 0.53 días<sup>-1</sup> para DQO. Para el tren 2 las constantes cinéticas con las que operó con en 0.24 días<sup>-1</sup> para color, 0.46 días<sup>-1</sup> para turbiedad y en 0.46 días<sup>-1</sup> para DQO.

### Propósito del estudio

En este manuscrito se describe el comportamiento fisicoquímico y volumétrico de la PTAR de HA de la DACBiol-UJAT, cuantificando indicadores de calidad de agua como DQO, los bioindicadores (macrófitas, invertebrados, peces, reptiles y anfibios) y la eficiencia de remoción de contaminantes básicos. Todo ello con el propósito de verificar el cumplimiento ambiental vigente (NOM-001-SEMARNAT-2021).

### La PTAR de la DACBiol

La PTAR de HA está localizada en la DACBiol-UJAT en Villahermosa, Centro, Tabasco, donde se generan y tratan AR domésticas provenientes de cafeterías, sanitarios, aseo general, de una población de 2,500 (estudiantes, administrativos y profesores). En la PTAR se establecieron tres tipos de macrófitas por su potencial de degradación de contaminantes en aguas residuales domésticas (López *et al.*, 2019, García *et al.*,



2019). Cuenta con dos trenes (T1 y T2) operando en serie, de igual dimensión y se estableció el mismo tipo de vegetación a ambos lados, el primer humedal subsuperficial cuenta con Tule (*Potenderia cordata*) (HAFS-Pc-1-T1 y HAFS-Pc-1-T2), el segundo humedal de flujo libre (HAFL-Tg-2-T1 y HAFL-Tg-2-T2) con Popal (*Thalia geniculata*) y el tercer humedal de flujo libre (HAFL-SI-3-T1 y HAFL-SI-3-T2) con Cola de pato (*Sagittaria lancifolia*) (Figura 2). El medio de soporte es grava de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, con una porosidad de 0.52, con 0.25 m el tirante (altura) de grava en los HAFL y de 0.5 m en los HAFS. Los humedales son de 8.33 m de largo, 2.5 m de ancho y 1 m de altura.

### Realización del estudio

Durante mayo y junio de 2023 se verificó el estado de equipos y reactores con sus especies (Figura 1). Se midió el gasto de operación en la PTAR empleando el método volumétrico (volumen/tiempo) (Briones & García, 2014), en horario de 08:00 a 18:00 horas con intervalos de 2 horas. Se tomaron muestras de AR en la entrada y salida de cada elemento de la PTAR, durante 10 días tomando una muestra simple diaria (12:00 horas).

La caracterización fisicoquímica se realizó por procedimientos analíticos de la normatividad oficial mexicana y los métodos estandarizados de la EPA, dentro del Laboratorio de Tecnología del Agua. Para reducir los errores experimentales y aplicar las pruebas estadísticas, las pruebas se efectuaron por triplicado. Los métodos usados para la medición de los parámetros fueron: pH (SM 4500 B), temperatura (SM 2550 B), SDT (SM 2540), turbiedad (SM 2130 B), color (APHA 2120 y la DQO (USEPA 410.4). La eficiencia de remoción se determinó mediante conforme a García *et al.* (2019).

Para el análisis de datos fue mediante un diseño simple dirigido a los tratamientos, analizando las variables dependientes, determinando diferencias estadísticamente significativas con un ANOVA simple para las variables paramétricas y con un análisis de varianza de Kruskal–Wallis para datos no paramétricos. Finalmente se procedió a realizar la identificación de organismos (bioindicadores) acuáticos, insectos, arácnidos, diplópodos, moluscos, crustáceos, peces, reptiles, anfibios, aves y microorganismos, identificando el reactor en el que se encuentran establecidos. La clasificación de los organismos acuáticos se realizó dentro del Laboratorio de Ecología y Conservación Tropical y el Laboratorio de Colecciones: Colección de Insectos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

### Resultados

Para el primer semestre del 2023 las actividades presenciales continúan normalizándose después del periodo de COVID 19, los HA trataban 41.5 m<sup>3</sup>/día, siendo para el T1 21.4 m<sup>3</sup>/día y el T2 con 20.1 m<sup>3</sup>/día (Gráfico 1).

El AR que está suministrándose a la PTAR preenta concentración media por tener concentraciones entre 300 y 500 mg/L de DQO según lo establecen Metcalf y Eddy, (2003) y Crites y Tchobanoglous, (2004). La calidad del agua de la tabla 1 son del tren 1 y tabla 2 son del tren 2, mostrando parámetros referentes a la eficiencia de una PTAR con lagunas de estabilización y HA (Medales *et al.*, 2020).

El tren 1 presentó remoción de 58 % para color, 30 % en turbiedad y 98 % para DQO (Tabla 3). El tren 2 presentó una remoción de 64 % para color, 42 % para turbiedad y 98 % para DQO (Tabla 4). Cabe aclarar que hay eficiencias negativas (-), estas se presentan cuando la concentración de un contaminante dado es mayor en la salida que en la entrada, fenómeno que se conoce como «corto circuito» y es indicativo de que la unidad que presenta este resultado necesita mantenimiento preventivo – correctivo o presenta un incremento de caudal que provoca el arrastre del material (contaminantes) que es separa en la unidad de tratamiento (Metcalf y Eddy, 2003).



Los HA son ecosistemas muy productivos pues a través de la fotosíntesis secuestran y acumulan carbono, como biomasa en las plantas o como materia orgánica en el suelo. La acumulación de agua dentro del HA provee un ambiente anóxico en donde el carbono es acumulado, dando lugar a un sumidero (Laiho, 2006). Las especies macrófitas en la PTAR a seis meses de su sembrado presentan tallas de importancia por la asimilación de nutrientes y carbono atmosférico. El Tule presentó un peso húmedo de 5.9 kg y un peso seco de 2.3 kg, El popal presentó un peso húmedo de 2.8 kg y un peso seco de 1.6 kg y la Cola de pato presentó un peso húmedo de 2.9 kg y un peso seco de 0.9 kg. En la tabla 5 se presentan las variables morfométricas de las especies.

Los organismos acuáticos encontrados en los HA son algunos tipos de protozoos que favorecen la degradación de materia orgánica, pueden ser productores primarios o alimento de otros organismos, por lo que son parte de las bacterias saprófitas que degradan la materia orgánica y otros productos (N y P) del AR mediante la digestión anaerobia y aerobia (Kadlec y Wallace, 2009). En la tabla 6 y 7 se presentan los organismos acuáticos identificados bajo diferentes medios de cultivos en los HA y las fotografías (Fotografía 1 a 6).

Las especies animales son importantes en los HA, estos representan menos biomasa que las plantas de HA, pero son capaces de alterar los flujos de energía y de masa desproporcionando la contribución de biomasa. Cuando aparecen las plagas de insectos en HA, pantanos enteros y sistemas acuáticos flotantes las plantas son defoliadas, interrumpiendo los ciclos de minerales y el rendimiento en el tratamiento del agua (EPA, 2000). La Tabla 8 resume las especies animales encontrados en los HA que integran la PTAR de la DACBIOL y presentamos las fotografías (7 a 12) de algunos animales encontrados durante este periodo de estudio.

## Conclusiones

En la PTAR de la UJAT-DACBIOL el cárcamo-cisterna (retiene sólidos suspendidos) constituyen el tratamiento primario, los HA son el tratamiento secundario con un TRH de 22.96 horas (T1) y 24.44 horas (T2). La remoción de la DQO es de 98 % (10 mg/L en la salida) lo que le permite cumplir con el criterio de descarga que establece la NOM-001-SEMARNAT-2021, que es de 100 mg/L como principal indicador de calidad del agua.

El Tule (HAFS), el Popal y la Cola de pato (HAFL), son de fácil manejo en la poda y cosecha y por ser de trópico húmedo no han presentado plagas en este periodo, por lo que estas especies son viables de aplicar en HA en estas regiones y contribuyen a la captura del carbono. El mayor número de especies de animales está en los HAFL-3 (Cola de pato) y son bioindicadores de calidad del agua pues estos humedales tienen la mejor calidad del agua, seguido de los HAFL-2 (Popal).

En este sentido los HA son una alternativa óptima para el tratamiento de agua de esta institución, pues son aptos para caudales discontinuos, siendo técnicamente viables y económicamente factibles para la institución.

## Agradecimientos

Agradecemos a los alumnos de la asignatura de Protozoarios de la Licenciatura en Biología, de la profesora Bernardita Campos Campos (Feb-Ago 2013) por facilitarnos las fotografías de los organismos, del mismo modo al Dr. Marco Antonio López Luna por apoyarnos en la identificación de los reptiles en este trabajo.

## Referencias

- Briones Sánchez Gregorio & García Casillas Ignacio. 2014. Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Editorial Trillas-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 100 p. ISBN: 978-968-24-7488-0. Tercera edición, reimpreso 2014.
- Carvajal, C., Ortiz, P., & Vega, A. L. (2017). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicado en Tauramena, Casanare. *Revista de Tecnología*, 16, 65–76. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6546150>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 25. Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales. (<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2022). Agua para consumo humano. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Crites R; Tchobanoglous G; 2004. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Santafé de Bogotá Colombia. 776 páginas. ISBN 0-07-289087-8 Obra completa. ISBN 0958-41-0042-4 impresión de 2004.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). ISBN: 978-99954-766-2-5. [https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)
- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010. Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
- García Ocaña J.A., López-Ocaña G., Torres-Balcázar C.A. (2019). Evaluación de medios de soporte en humedales artificiales con vegetación *Sagittaria latifolia* en la remoción de contaminantes básicos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. Vol. 8, Núm. 15. 1-36. DOI: 10.23913/ciba.v8i15.82
- Gallegos-Rodríguez, J., López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R. G., & Torres-Balcázar, C. A. (2018). Evaluation of free flow constructed wetlands with *Sagittaria latifolia* and *Sagittaria lancifolia* in domestic wastewater treatment. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 10(2), 49-65. doi: 10.5154/r.inagbi.2017.03.005.
- Jiménez-López E.C, López-Ocaña G., Bautista-Margulis R.G., Castelán-Estrada M., Guerrero-Peña A., Hernández-Barajas J.R., Torres-Balcázar C.A., De La Cruz-Luna E., Romellón-Cerino M.J., & Solís-Sílván R. (2017). Wastewater treatment by constructed wetlands with *Thalia geniculata* and *Paspalum paniculatum* in a tropical system of Mexico. *Int. J. Sus. Dev. Plann*. Vol. 12, No. 1: 42–50. DOI: 10.2495/SDP-V12-N1-42-50.
- Kadlec, R.H., Wallace, S.D., 2009. *Treatment wetlands*, Second Ed. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 33487-2742, USA. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition\\_0.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf)
- Maitlo, G., Kandhro, G. A., Karim Shah, A., Shtar Jatoi, A., & Qayoom Memon, A. (2018). Treatment of Municipal Wastewater Through Horizontal Flow Constructed Wetland. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 19(2), 135–145. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2018.12.15>
- Medales Martínez A.G., Vázquez González M.B., López Vidal R., Torres Balcázar C.A., López Ocaña G. (2020). Tratamiento de aguas residuales domésticas con laguna anaerobia y humedales artificial de flujo libre. *Visum Mundi*, Vol. 3, No. 2, pág. 187-195. ISSN 2572-8458 online.
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wasterwater Ingeneering. Treatment, Disposal and Reuse*. MC Graw Hill. 1819 p.
- Laiho, R., 2006. Decomposition in peatlands: reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biol. Biochem*. 38, 2011–2024. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.02.017>.
- López-Ocaña G., R. G. Bautista-Margulis, S. Méndez-Angulo, J. R. Hernández-Barajas, C. A. Torres-Balcázar, R. M. Padrón-López, E. de la Cruz-Luna & M. I. Ferrer-Sánchez. (2013). Optimization and evaluation of a

domestic wastewater treatment system by dual combination of metallic salts and zeolites filtration. En: C.A: Brebbia (Ed.) *Water Pollution XII* (pp. 245-256). UK, Vol 182, WIT Press. doi:10.2495/WP140221.

López, G., Bautista, R., Valdes, A., Torres, C., López, R., Pérez, E., & Pampillón, L. (2019). Spatial distribution behavior of basic pollutants in a subsurface-flow wetland with *Thalia geniculata*. *Int. J. Environ. Impacts*, 2(2), 145-160.

López Ocaña G., Torres Balcázar C. A., López Vidal Bautista Margulis R. G., Pampillón González L., Valdés Manzanilla A. y Ramos Herrera S. (2021). Estudio cinético de Humedales artificiales en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la DACBiol-UJAT. Folio: 776. Informe Técnico. Cuerpo Académico de Ingeniería y Tecnología Ambiental UJAT-CA-259. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). (2015). Certificado de Calidad Ambiental México, Nivel de Desempeño 1 "Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas". Certificado: NC2712276, No. Oficio: 0663, No. SIIP:11966, SAAEL:4521. 21 Julio 2015.

Romellón-Cerino, M.J., Estrada-Pérez, N. y López-Ocaña, G. 2022. Remoción y cinética de contaminantes básicos en humedales artificiales en serie. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability (REB&S)*, Vol. 3, No. 1, 24-34. [https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a3\\_v3n1\\_reb\\_s.pdf](https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a3_v3n1_reb_s.pdf)

Vázquez, M. B., López, G. (2011). Evaluación Técnica de un Tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales en Centro, Tabasco. *U. Tecnociencia*. 5 (1) 32 - 47.

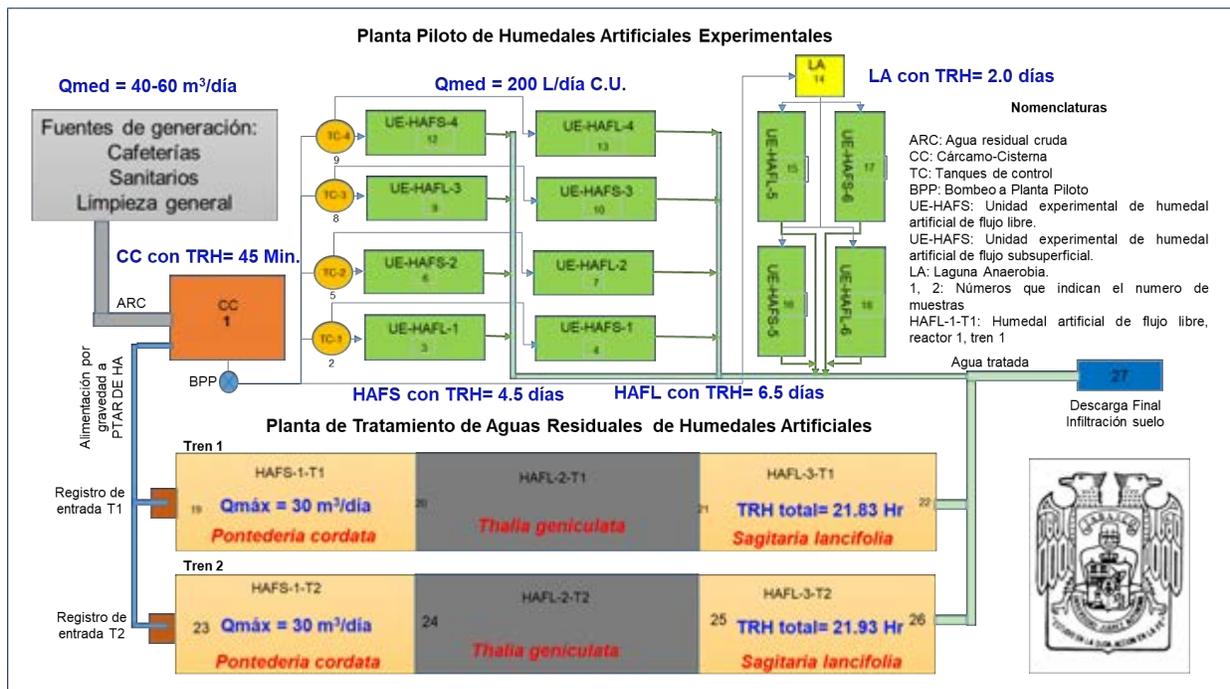


Figura 1. Distribución de planta piloto y la PTAR de la DACBiol-UJAT.



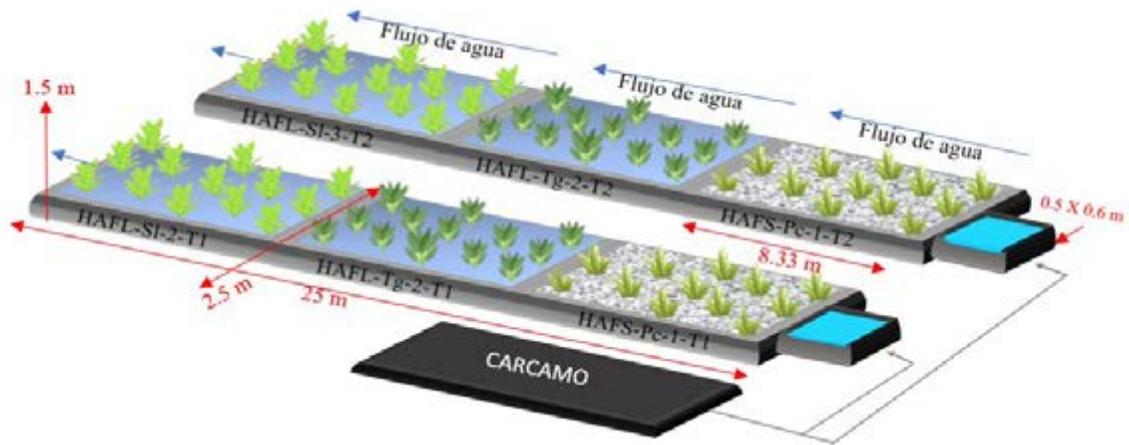


Figura 2. Diagrama de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la DACBioI-UJAT.

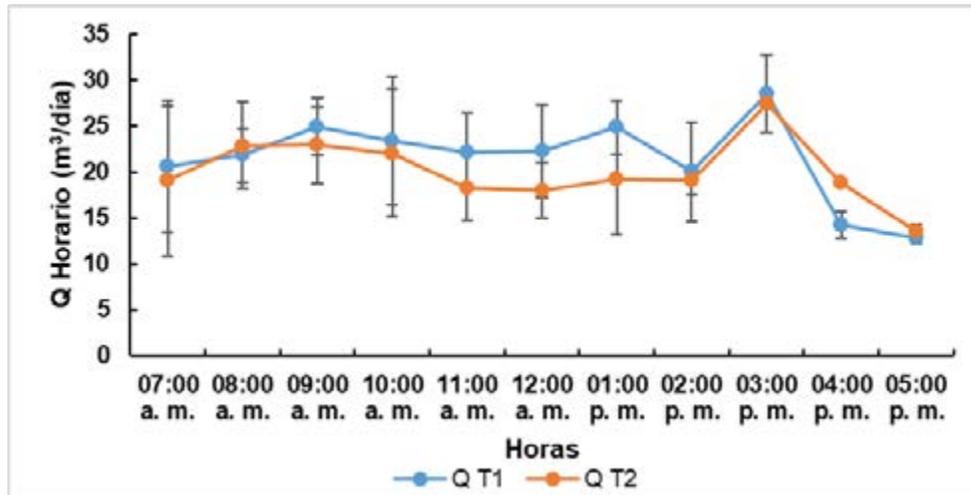
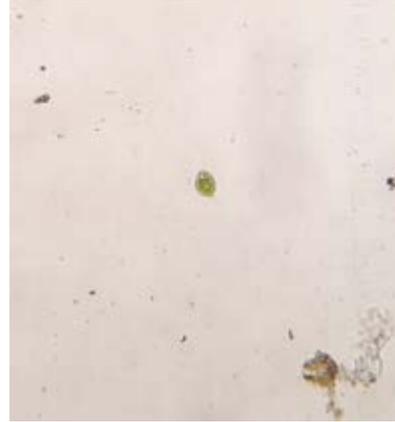


Gráfico 1. Gastos de operación en los trenes de tratamiento en la PTAR (N=10).



Fotografía 1. Ciliophora

Fotografía 2. *Phacus* sp.

Fotografía 3. Criptomónidos



Fotografía 4. Euglénidos

Fotografía 5. Clase Bacillariophyceae. Género *Navicula* sp.Fotografía 6. *Codosiga* sp.

Nota: Se observaron muchos ciliados, por su tamaño no se lograron identificar a nivel de género.  
Cortesías de: Campos Campos Bernardita, Collado Ascencio Luis Yahir, De León Osorio Yolanda Pamela, González Hernández María Fernanda, Hernández Oramas David Alexis, Tosca Ramos Javier Y Vázquez Martínez Reyna Priscila.



Fotografía 7. *Mayaheros urophthalmus*  
Cortesía: Gaspar López Ocaña



Fotografía 8. *Kinosternon leucostomum*  
Cortesía: Marilyn Calderón Miranda



Fotografía 9. *Basiliscus vittatus*  
Cortesía: Marilyn Calderón Miranda



Fotografía 10. *Pomacea canaliculata*  
Cortesía: Marilyn Calderón Miranda



Fotografía 11. *Leptophis mexicanus*  
Cortesía: Marilyn Calderón Miranda



Fotografía 12. *Quiscalus mexicanus* (Zanate)  
Cortesía: Marilyn Calderón Miranda

Tabla 1. Comportamiento de la calidad del agua en el tren 1 ( $N=10$ ).

Unidades	pH (UpH)	Temp. (°C)	SDT (mg/L)	Turb. (UNT)	Color (UC)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)
Cárcamo	9.1	26.4	640.5	22.2	2019.6	2.8	447.0
T. Séptico	9.0	26.5	804.4	14.3	1459.9	3.0	238.0
HAFS-Pc-1-T1	8.7	26.3	775.7	7.3	795.4	2.8	150.0
HAFL-Tg-2-T1	8.6	25.6	797.4	11.4	645.6	2.9	84.0
HAFL-SI-3-T1	8.4	25.7	735.3	15.6	855.6	3.0	10.0

Tabla 2. Comportamiento de la calidad del agua en el tren 2 ( $N=10$ ).

Unidades	pH (UpH)	Temp. (°C)	SDT (mg/L)	Turb. (UNT)	Color (UC)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)
Cárcamo	9.1	26.4	640.5	22.2	2019.6	2.8	447.0
T. Séptico	9.0	26.5	804.4	14.3	1459.9	3.0	238.0
HAFS-Pc-1-T2	8.4	25.7	797.0	12.4	816.4	2.0	126.0
HAFL-Tg-2-T2	8.4	25.6	800.6	13.4	950.4	2.7	18.0
HAFL-SI-3-T2	8.4	25.6	712.4	12.8	718.9	3.1	10.0

Tabla 3. Eficiencia de remoción de contaminantes en el tren 1 ( $N=10$ ).

Unidades	T. Séptico ER (%)	HAFS-Pc-1-T1 ER (%)	HAFL-Tg-2-T1 ER (%)	HAFL-SI-3-T1 ER (%)	ETP (%)
SDT (mg/L)	-25.6	3.6	-2.8	7.8	-15
Turbiedad (UNT)	35.6	49.0	-56.2	-37.3	30
Color (UC)	27.7	45.5	18.8	-32.5	58
DQO (mg/L)	46.8	37.0	44.0	88.1	98

Tabla 4. Eficiencia de remoción de contaminantes en el tren 2 ( $N=10$ ).

Unidades	T. Séptico ER (%)	HAFS-Pc-1-T2 ER (%)	HAFL-Tg-2-T2 ER (%)	HAFL-SI-3-T2 ER (%)	ETP (%)
SDT (mg/L)	-25.58	0.9	-0.4	11.0	-11
Turbiedad (UNT)	35.63	12.8	-7.9	4.8	42
Color (UC)	27.72	44.1	-16.4	24.4	64
DQO (mg/L)	46.76	47.1	85.7	44.4	98

Tabla 5. Características de las especies en él HA durante el periodo de estudio ( $N=10$ ).

Parámetro	Tule				Popal				Cola de golondrina			
	Sembrado		Cosecha		Sembrado		Cosecha		Sembrado		Cosecha	
	X	±DE	X	±DE	X	±DE	X	±DE	X	±DE	X	±DE
<b>Peso Kg</b>	6.8	1.9	12.5	3.5	7.8	0.7	9.0	1.3	2.2	1.7	3.1	1.5
<b>L. Tallo cm</b>	47.8	10.4	141.2	14.0	167.8	73.1	282.5	23.8	93.3	20.5	106.1	24.4
<b>D. Tallo cm</b>	5.7	1.6	6.2	1.0	8.3	1.9	4.5	0.5	7.8	2.1	8.1	0.6
<b>L. Raíz cm</b>	19.6	11.4	28.4	14.4	20.0	4.1	26.0	3.0	26.4	12.6	30.4	9.6
<b>D. Raíz cm</b>	31.3	13.2	48.7	16.8	26.9	10.2	123.4	25.6	23.6	11.0	34.8	14.8
<b>N° Hojas</b>	0.0	0.0	41.0	6.9	3.7	2.7	37.1	14.4	1.3	1.7	8.9	1.4
<b>N° Tallos</b>	8.6	3.4	51.4	8.7	8.5	2.5	44.9	5.8	8.5	2.5	9.5	1.6
<b>L. Hojas cm</b>	0.0	0.0	26.1	4.6	37.7	19.4	64.8	3.4	23.8	11.3	44.8	13.5

Tabla 6. Organismos identificados en el humedal artificial (DACBio) (marzo 2023) ( $N=9$ ).

Humedales	HAFS-Pc	HAFL-Tg-	HAFL-SI
<b>Organismos</b>	Ciliados.  Clase Bacillariophyceae (diatomea). Género <i>Navicula</i> sp.	Clase Bacillariophyceae (diatomea). Género <i>Navicula</i> sp.  División Euglenophyta, Género <i>Euglena</i> sp.	División Euglenophyta, Género <i>Euglena</i> sp.

Tabla 7. Organismos del HA (DACBio) en diferentes medios de cultivo (marzo 2023) ( $N=9$ ).

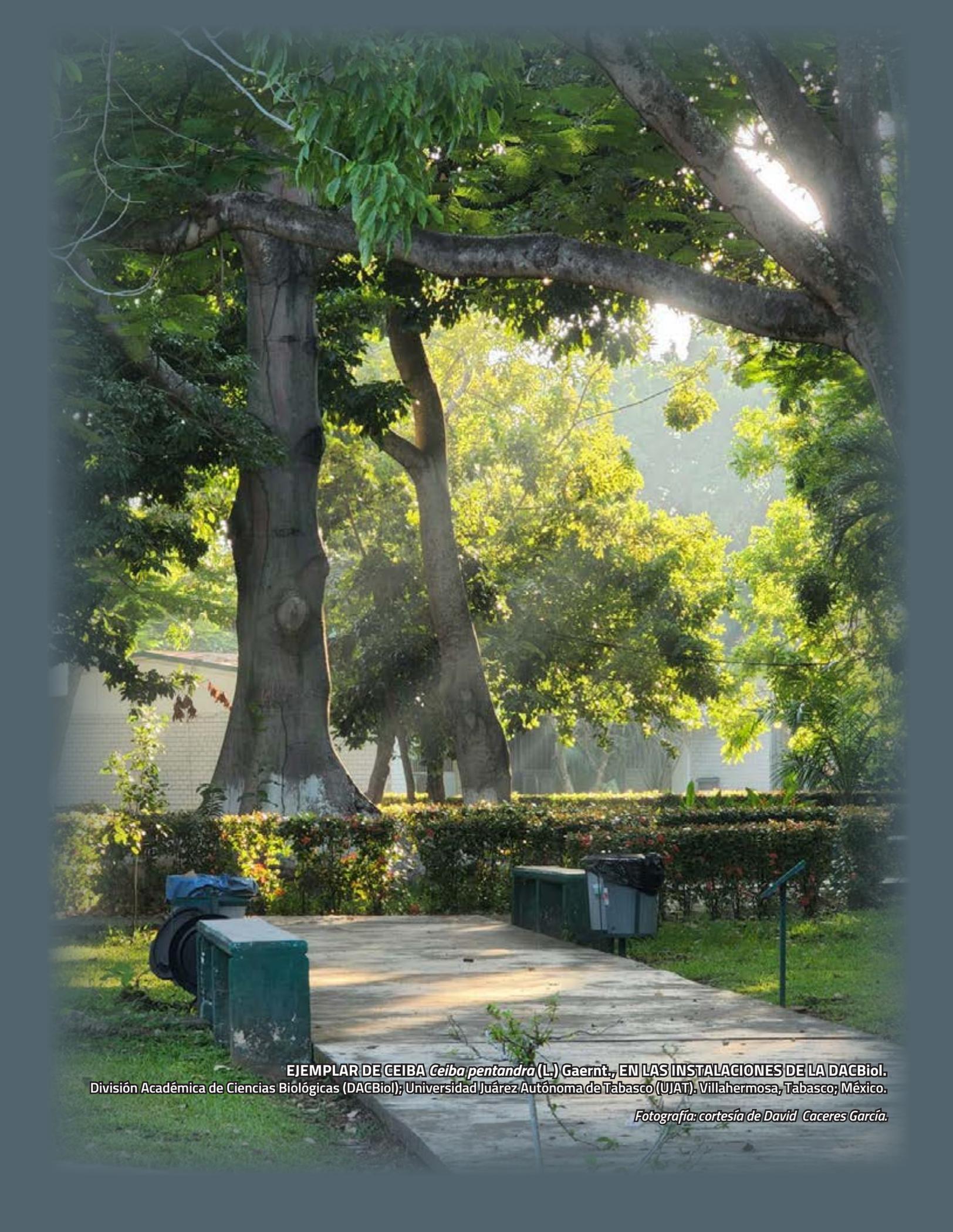
Cultivo	HAFS-Pc	HAFL-Tg	HAFL-SI
<b>Avena</b>	División Euglenophyta, Género <i>Euglena</i> sp.  Phylum Ciliophora, Ciliados	División Euglenophyta. Género <i>Euglena</i> sp.  División Crisophyta, Clase Bacillariophyceae (diatomea). Género <i>Navicula</i> sp.  <i>Phylum ciliophora</i> , Ciliados	
<b>Musgo</b>	Phylum Ciliophora, Ciliados  División Crisophyta, Clase Bacillariophyceae (diatomea). Género <i>Navicula</i> sp.		
<b>Maíz</b>	Sin organismos	Sin organismos	Sin organismos
<b>Arroz</b>		División Euglenophyta. Género <i>Euglena</i> sp.	
<b>Frijol</b>			Subreino sarcomastigota Phylum Choanozoa Género <i>Codosiga</i> (Cavalier-Smith 1981).

<b>Jamaica</b>			Phylum Ciliophora, Ciliados.  División Euglenophyta. Género <i>Phacus sp.</i>  División Criptophyta, Orden Cryptomonadales, Género <i>Chlorogonium sp.</i>
----------------	--	--	---

Tabla 8. Especies de animales encontrados dentro del HA (DACBioI) (marzo -mayo de 2023).

<b>Organismo</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Humedal</b>
<b>Insectos</b>	<i>Danaus sp</i>	Falsa monarca	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
	<i>Manduca sexta</i>	Gusano del tabaco	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
	<i>Dinia eagrus</i>	Polilla imitadora de la avispa de punta escarlata	HAFL-3
	<i>Nannotrigona perilampoides</i>	Abeja Melipona	HAFL-3
	<i>Cycloneda sanguinea</i>	Vaquita roja	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Corydalus cornutus</i>	Mosca Dobson	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Dysdercus</i>	Gran chinche de algodóncillo	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Dryadula phaetusa</i>	Mariposa bandas naranja	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Phyciodes phaon</i>	Mariposa luna faón	HAFL-3
	<i>Polites vibex</i>	Saltarina remolino	HAFL-3
	<i>Anartia fatima</i>	Mariposa luna faón	HAFL-3
	<i>Cornops acuaticum</i>	Saltamontes Jacinto de agua	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Rhetus arcus</i>	Mariposa de cola larga	HAFL-3
	<i>Anartia jatrophae</i>	Pavo real blanco	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
<i>Theretra oldenlandiae</i>	La polilla del halcón impatiens	HAFL-3	
<b>Arácnidos</b>	<i>Leucauge argyra</i>	La araña de jardín	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
	<i>Pisaurina mira</i>	Araña de tela de vivero	
	<i>Micrathena sagittata</i>	Araña punta de flecha	
<b>Diplopodos</b>	<i>Diplopoda</i>	Milpiés	HAFS
<b>Moluscos</b>	<i>Bithynia tentaculata</i>	Bitinia del barro	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Pomacea canaliculata</i>	Caracol manzano	HAFL-2, HAFL-3
<b>Crustáceos</b>	<i>Faxonius virilis</i>	El cangrejo de río viril	HAFL-3
<b>Peces</b>	<i>Vieja melanura</i>	Mojarra paleta	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Mayaheros urophthalmus</i>	Castarrica	HAFL-3
	<i>Atherinella alvarezi</i>	Charal	HAFL-2, HAFL-3
<b>Reptiles</b>	<i>Kinosternon leucostomum</i>	Pochitoque	HAFS
	<i>Trachemys venusta</i>	Híco tea	HAFL-3
	<i>Crocodylus moreletii</i>	Cocodrilo de pantano	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
	<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde	HAFL-3
	<i>Leptophis mexicanus</i>	Ranera Bronceada	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Drymobius margaritiferus</i>	Serpiente corredora de petatillos	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Boa imperator</i>	Mazacuata	HAFL-2, HAFL-3

	<i>Claudius angustatus</i>	Taiman	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Smilisca baudinii</i>	Rana Arborícola Mexicana	HAFL-2, HAFL-3
	<i>Basiliscus vittatus</i>	Toloque	HAFS
<b>Aves</b>	<i>Amazilia candida</i>	Colibrí cándido	HAFS, HAFL-2, HAFL-3
	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	HAFS, HAFL-2, HAFL-3



**EJEMPLAR DE CEIBA *Ceiba pentandra* (L.) Gaernt., EN LAS INSTALACIONES DE LA DACBIOL.**  
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de David Caceres García.*

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBIOL

DACBIOL

**ILUMINACIÓN NOCTURNA DE LA ENTRADA PRINCIPAL Y FACHADA DE LA DACBIOL-UJAT.**

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de David Caceres García.*



**KUXULKAB'**

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

☎ +52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

✉ kuxulkab@ujat.mx

🌐 www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039.  
Villahermosa, Tabasco. México.