



ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

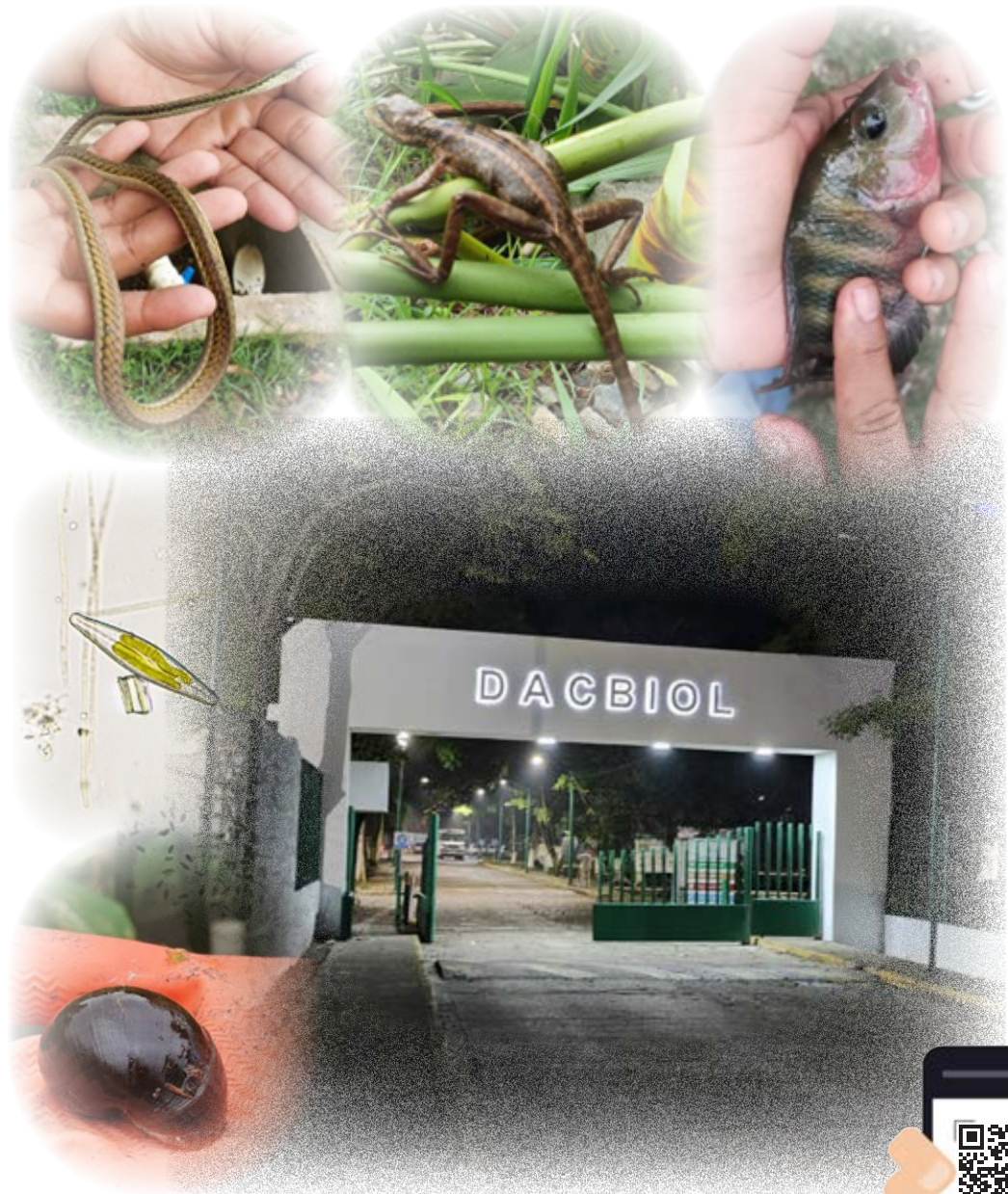
-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen 30

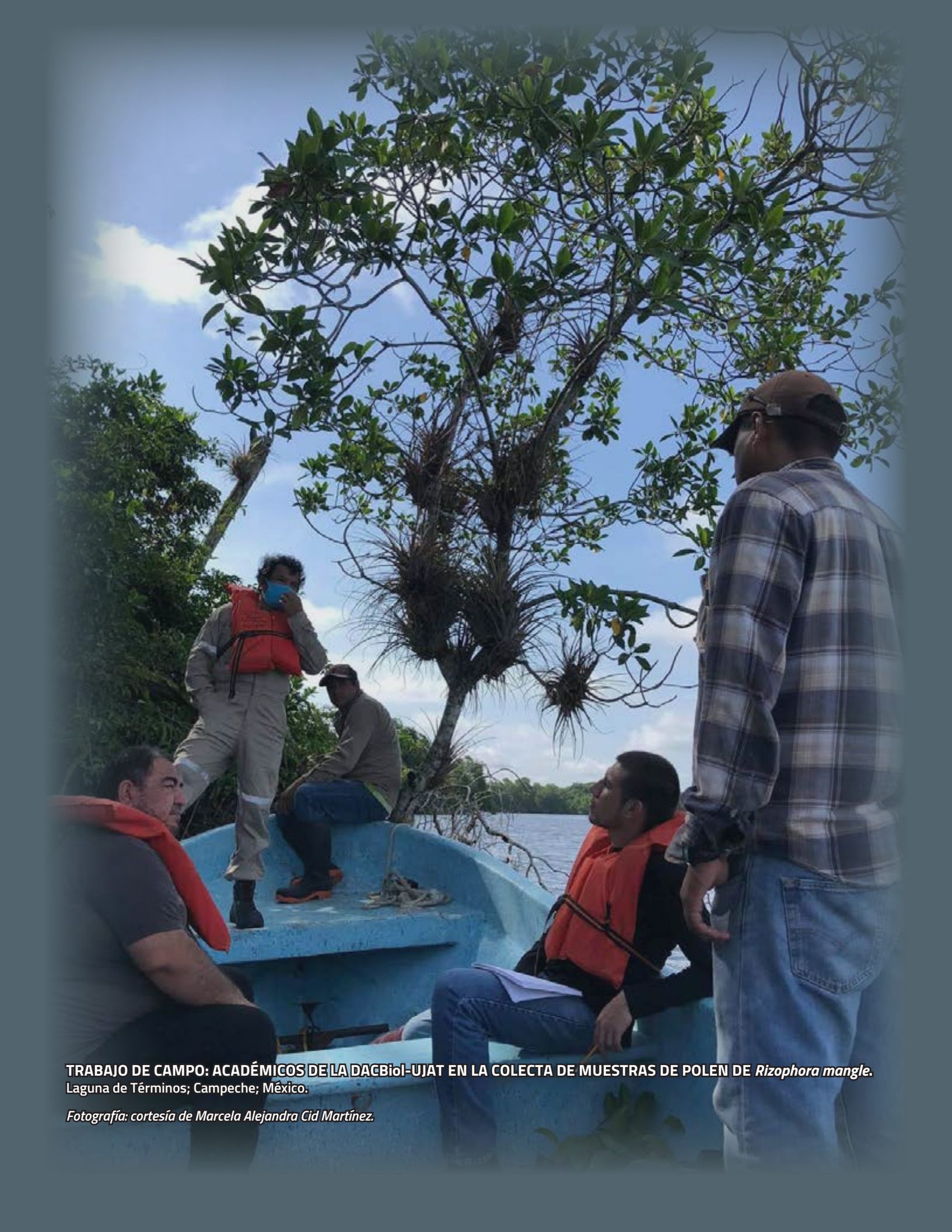
Número 67

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.



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIRECTORIO

L.D. Guillermo Narváez Osorio
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea
Secretaría de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Lic. Alejandro Bastar Cordero
Encargado de despacho de la Secretaría de Servicios Administrativos

Mtro. Miguel Armando Vélez Téllez
Secretario de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dr. José Roberto Hernández Barajas
Coordinador de Investigación y Posgrado, DACBIOL-UJAT

L.C.P. Luz del Carmen Pulido Noverola
Coordinadora Administrativa, DACBIOL-UJAT

Dra. María Elena Macías-Valadez Treviño
Coordinadora de Docencia, DACBIOL-UJAT

M.I.P.A. Araceli Guadalupe Pérez Gómez
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBIOL-UJAT

COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina †
Editor fundador

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Editor ejecutivo y encargado

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa
Dr. Jesús García Grajales

Dra. Carolina Zequeira Larios

Dr. Rodrigo García Morales

Dra. María Elena Macías-Valadez Treviño

Ocean. Rafael García de Quevedo Machain

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña

Dr. Nicolás Álvarez Pliego

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Dr. Marco Antonio Altamirano González Ortega

Dra. Rocío Guerrero Zárate

Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos

Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello

Dra. Melina del Carmen Uribe López

Dr. José Guadalupe Chan Quijano

Dra. Martha Alicia Perera García

Editores asociados

Dra. Ramona Elizabeth Sanlúcar Estrada

M.C.A. Alma Deysi Anacleto Rosas

Dra. Ena Edith Mata Zayas

M. en Pub. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez

Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez

M. en C. Leonardo Noriel López Jiménez

Dra. Violeta Ruiz Carrera

Correctores de pruebas

M.Arq. Marcela Zurita Macías-Valadez

M. en C. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez

Traductoras

L.I.A. Ervey Baltazar Esponda

Soporte técnico institucional

Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez †

Apoyo técnico

CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Lilia María Gama Campillo

División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT - México

Dr. Roberto Carlos González Fócil

Jefe del Departamento de Revistas Científicas, UJAT - México

Dra. Juliana Álvarez Rodríguez

División Académica de Ciencias Económico Administrativas, UJAT - México

Dr. Jesús María San Martín Toro

Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés.

KUXULKAB' se encuentra disponible en su portal electrónico a **texto completo** y en **acceso abierto**, así como en diversas plataformas editoriales, directorios y catálogos de revistas:



Revistas Universitarias

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



Repositorio Institucional UJAT

Plataforma desarrollada con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la universidad.



Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



PERIÓDICA - Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Google académico - Google Scholar

Buscador de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y bibliografía científico-académica (artículos, tesis, libros, patentes, etcétera).



BASE - Bielefeld Academic Search Engine

Motor de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos; es operado por la biblioteca de la Universidad de Bielefeld (Bielefeld, Alemania).



MIAR - Matriz de Información para el Análisis de Revistas

Matriz con repertorio de revistas y bases de datos de indexación (citas, multidisciplinarias o especializadas), con el propósito de identificar revistas científicas.



fatcat! - Perpetual Access to the Scholarly Record

Catálogo de publicaciones de investigación que incluye artículos de revistas, actas de congresos y conjuntos de datos.



OAJI - Open Academic Journals Index

Base de datos internacional para indexar revistas científicas de acceso abierto; es manejada por la Universidad Global de Cherkas (United States of America).



Nuestra portada:

«La DACBIOL y el estudio de los humedales artificiales».

Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo (DACBIOL-UJAT).

Fotografías de: Imágenes alusiva al número publicado y bajo cortesía de los autores responsables.

KUXULKAB', año 30, No. 67, mayo-agosto 2024; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <https://revistas.ujat.mx>; kuxulkab@ujat.mx. Editor responsable: Fernando Rodríguez Quevedo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 15 de mayo de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBIOL y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Editorial

Estimados lectores:

Deseario se encuentren bien, en esta oportunidad nos dirigimos para presentar el segundo número de **Kuxulkab'** para este 2024; siguiendo en reforzar los esfuerzos para mantener nuestra presencia, en esta ocasión se exponen dos aportaciones donde, contamos con datos sobre dos estudios relacionados a las ciencias ambientales, uno respecto a la formación de microalgas como un recurso natural para uso alternativo; el segundo una descripción respecto al monitoreo y verificación de un humedal artificial y su cumplimiento ambiental de uso.

De costumbre a la forma de trabajo de la revista, proporcionamos una sinopsis de las aportaciones que conforman esta publicación:

«**EL INCREÍBLE VIAJE DE UNA MICROALGA: UN BAILE CON NUTRIENTES PARA UN CRECIMIENTO EXCEPCIONAL**»; texto que presume el análisis del crecimiento de una microalga en ambientes controlados empleando recetas nutricionales y monitorear indicadores físicos como la turbidez, color y sólidos suspendidos.

«**INDICADORES Y BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES ARTIFICIALES: CASO DE ESTUDIO EN CENTRO, TABASCO**», aportación que describe el manejo y desarrollo (físicoquímico, volumétrico) de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de humedal artificial (HA) de la DACBIOL-UJAT; con el propósito de verificar el cumplimiento ambiental vigente.

La consolidación de este número es un esfuerzo en conjunto con autores, evaluadores, editores asociados y demás miembros del comité editorial de esta revista. Agradecemos, a cada uno de ellos, su apoyo y entusiasmo de colaborar en la divulgación de la ciencia con estándares de calidad emanados por esta casa de estudios. Esperamos vernos pronto.

Arturo Garrido Mora
DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

Fernando Rodríguez Queredo
EDITOR EJECUTIVO DE KUXULKAB'

Contenido

EL INCREÍBLE VIAJE DE UNA MICROALGA: UN BAILE CON NUTRIENTES PARA UN CRECIMIENTO EXCEPCIONAL e5953

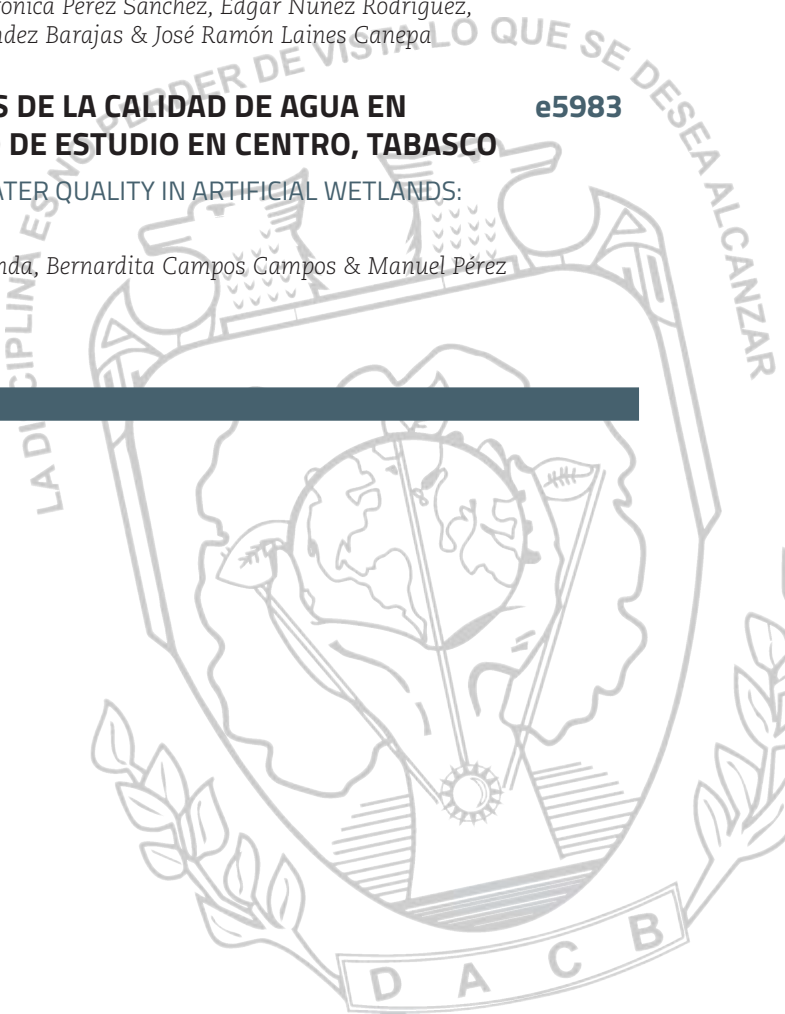
THE INCREDIBLE JOURNEY OF A MICROALGAE: A DANCE WITH NUTRIENTS FOR EXCEPTIONAL GROWTH

Sandra Karina Hernández Márquez, Rosa Veronica Pérez Sánchez, Edgar Nuñez Rodriguez, José Aurelio Sosa Olivier, José Roberto Hernández Barajas & José Ramón Laines Canepa

INDICADORES Y BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES ARTIFICIALES: CASO DE ESTUDIO EN CENTRO, TABASCO e5983

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

Gaspar López Ocaña, Marilyn Calderón Miranda, Bernardita Campos Campos & Manuel Pérez de la Cruz



EL INCREÍBLE VIAJE DE UNA MICROALGA: UN BAILE CON NUTRIENTES PARA UN CRECIMIENTO EXCEPCIONAL

THE INCREDIBLE JOURNEY OF A MICROALGAE: A DANCE WITH NUTRIENTS FOR EXCEPTIONAL GROWTH

Sandra Karina Hernández Márquez¹, Rosa Veronica Pérez Sánchez², Edgar Nuñez Rodríguez³, José Aurelio Sosa Olivier⁴, José Roberto Hernández Barajas⁵ & José Ramón Laines Canepa⁶✉

¹Egresada de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Estudiante de Ingeniería en Biotecnología de la División de Ciencias de la Salud, Biológicas y Ambientales de la Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). ²Ingeniera Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH); estudiante de la Maestría en Ciencias Ambientales de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). ³Licenciado en Gestión Ambiental por la Universidad Alfa y Omega; Técnico docente del Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Tabasco (CECyTE). ⁴Ingeniero Ambiental y Maestro en Ciencias Ambientales por la UJAT. Integrante del Sistema Estatal de Investigadores, del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET); así como también de la Asociación Mexicana de Ingeniería, Gestión y Ciencias Ambientales (AMICA A.C.). Actualmente profesor-investigador de la DACBiología-UJAT. ⁵Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas); Doctor en Ciencias por el Instituto Tecnológico de Celaya (Guanajuato); Predoctoral en Ingeniería Química y Bioquímica en la Universidad de Western Ontario (Canadá). Hoy profesor-investigador de la DACBiología-UJAT. ⁶Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales por la UJAT. Especialista en el campo de la ingeniería ambiental con enfoque en prevención de la contaminación, así como en el manejo de los residuos. En el momento profesor-investigador DACBiología-UJAT.

Laboratorio Planta Piloto #3, Tratamiento Atmosférico y de Residuos Sólidos, División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología); 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.

✉ jose.laines@ujat.mx

 ¹ 0009-0003-3962-0346  ² 0009-0001-6269-3223  ³ 0000-0002-4957-5652
 ⁴ 0000-0001-6786-0521  ⁵ 0000-0002-3037-3188  ⁶ 0000-0002-6770-5596

Como referenciar:

Hernández Márquez, S.K.; Pérez Sánchez, R.V.; Nuñez Rodríguez, E.; Sosa Olivier, J.A.; Hernández Barajas, J.R. & Laines Canepa, J.R. (2024). El increíble viaje de una microalga: un baile con nutrientes para un crecimiento excepcional. *Kuxulkab'*, 30(67): e5953, mayo-agosto. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n67.5953>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx> • <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/5953>

DOI:

<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n67.5953>

Resumen

En el reino de las microalgas, "*Nannochloropsis oculata*" destaca por su adaptabilidad a diversas dietas. Se ha explorado su crecimiento en fotobiorreactores "airlift" y variados medios de cultivo. El objetivo fue analizar este crecimiento en ambientes controlados, empleando cuatro recetas nutricionales. Además del crecimiento, se monitorearon indicadores como turbidez, color aparente y sólidos suspendidos, asegurando un control preciso. Resultados emocionantes emergieron; este estudio revela la relación de "*N. oculata*" con nutrientes. Hallazgos que descubren misterios del cultivo de microalgas y prometen un futuro verde. Este increíble viaje anticipa más maravillas microscópicas.

Palabras clave: Microalgas; Biorreactor; Nutriente; Cinética de crecimiento; Medios de cultivo.

Abstract

In the kingdom of microalgae, "*Nannochloropsis oculata*" stands out for its adaptability to various diets. Its growth in airlift photobioreactors and various culture media has been explored. The objective was to analyze this growth in controlled environments, using four nutritional recipes. In addition to growth, indicators such as turbidity, apparent color, and suspended solids were monitored, ensuring precise control. Exciting results emerged; this study reveals the relationship of "*N. oculata*" with nutrients. Findings that uncover mysteries of microalgae cultivation and promise a green future. This incredible journey anticipates more microscopic wonders.

Keywords: Microalgae; Bioreactor; Nutrient; Growth kinetics; Culture media.

En el mágico mundo de lo microscópico, las microalgas destacan como diminutos seres que, al igual que nosotros, necesitan su propio entorno especial: agua, luz y dióxido de carbono (CO_2), para tejer su increíble crecimiento.

El cultivo de microalgas despliega su versatilidad a través de distintos enfoques nutricionales, entre ellos el autotrófico, donde estas diminutas maravillas pueden cocinar su propio manjar gracias a la magia de la fotosíntesis; Otra estrategia es la heterotrofia, en la cual las microalgas no pueden preparar su propio banquete de carbono a través de la fotosíntesis, por lo que se nutren a partir de otras fuentes en su entorno y un enfoque aún más asombroso es el mixotrofismo, donde estas microalgas ingeniosas tienen el poder de abastecerse de energía metabólica tanto a través de la fotosíntesis como de otras fuentes en su entorno, ¡una estrategia verdaderamente versátil para mantener su vitalidad! (Rehmanji, Suresh, Nesamma & Jutur, 2021).

En la producción de materia orgánica, el empleo de fotobiorreactores (FBR) "airlift" y la técnica de conteo rápido de células emerge como un dúo fundamental, estas herramientas no solo aumentan la eficiencia del proceso, sino que también impulsan la calidad del resultado final.

Un mundo de posibilidades se ha explorado en busca del entorno ideal para el florecimiento de las microalgas. Durante esta travesía, se han examinado diversos senderos en la búsqueda del escenario óptimo para el florecimiento de las microalgas. Entre estos caminos, resaltan el famoso medio F/2 (Parsy, Sambusiti, Baldoni-Andrey, Elan, & Périé, 2020; Minhas, Gaur & Adholeya, 2023), el mediático medio de cultivo Zarrouk (Andrade, Cardoso, Assis, Costa, Druzian & da Cunha, 2019; de Medeiros, Pimentel, Varandas, Dos Santos, de Souza, da Costa, da Conceição & Magnani, 2020), el confiable medio

basal de Bold (Chuah, Dasan, Cheng, Lim, Ho, Tan, Yew, Kiew, Leong & Lam, 2020), el bien reconocido medio de cultivo WC (Minhas *et al.*, 2023) y hasta el digestato líquido nacido del proceso de digestión anaerobia; todos ellos brillantes fuentes de nutrientes que prometen nutrir a estas pequeñas maravillas verdes (Parsy *et al.*, 2020).

Se ha constatado que las variadas composiciones de estos medios de cultivo ejercen una influencia de gran magnitud en el desarrollo y la composición química de la materia orgánica de las microalgas. Los ingredientes de estos caldos nutricionales desempeñan un papel crucial en la evolución de estas diminutas maravillas verdes.

La microalga ("*Nannochloropsis oculata*") demuestra su habilidad para prosperar en ambientes acuáticos con una salinidad que oscila entre los 5 y 35 partes por trillón (ppt), a una cálida temperatura de 30 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y un nivel de pH de 9. Estos números revelan su capacidad asombrosa para adaptarse a condiciones diversas y desafiantes. En el ámbito industrial, esta especie demuestra su necesidad de condiciones luminosas fotosintéticas, este proceso implica un inicio suave con luz tenue durante las primeras semanas, seguido de un aumento gradual en la intensidad lumínica, evitando la exposición directa a la luz solar.



(2024). iStock.com | [greenleaf123]
Fotobiorreactor en la industria de biocombustibles de combustible de algas de laboratorio...
<https://www.istockphoto.com/es/foto/fotobiorreactor-en-la-industria-de-biocombustibles-de-combustible-de-algas-de-gm1151361649-312012838>

En la esfera de la producción masiva, se recurre al uso de agua residual secundaria en conjunción con agua de mar o incluso un medio derivado de biocombustibles. La "*Nannochloropsis*" se erige como una auténtica joya en términos de impacto y potencial biotecnológico. Su habilidad para acumular niveles sobresalientes de ácidos grasos poliinsaturados la posiciona como una de las microalgas más prometedoras en este ámbito.

Las células de esta alga exhiben modestas dimensiones, midiendo alrededor de 2 micrómetro o micras (μm), por lo general, permanecen inmóviles y ostentan un tono verde. Su distinción radica en la ausencia de clorofila b, un pigmento vital para la fotosíntesis que expande el rango de luz aprovechable, así como la carencia de clorofila c, otro pigmento que les otorga la capacidad de aclimatare a distintas condiciones de luz en hábitats acuáticos específicos.

Mencionadas características las separan de sus contrapartes microalgales. Estas micrófitas demuestran una asombrosa habilidad para almacenar diversos pigmentos, como astaxantina, zeaxantina y cantaxantina, los cuales desempeñan un papel crucial al conferir los colores distintivos que las caracterizan. Además, estos pigmentos cumplen una función esencial en la captación de luz, y a la vez, la especie muestra una sorprendente capacidad de crecimiento celular en una variedad de medios de cultivo (Galina, Porto & Freitas, 2018; Lubián, Montero, Moreno-Garrido, Huertas, Sobrino, González-del Valle & Parés, 2000).

La sorprendente versatilidad metabólica de las microalgas les concede una destreza única para aclimatare a una amplia gama de ecosistemas y procesos biotecnológicos, en tiempos recientes, ha habido un notable incremento en el interés hacia la utilización de fotobiorreactores en diversas aplicaciones biotecnológicas, con especial enfoque

en el cultivo de microalgas. Esta tendencia refleja el potencial que estas pequeñas maravillas tienen para moldear el panorama de la biotecnología.

Los recientes progresos en la ingeniería de fotobiorreactores han intensificado el enfoque en la reducción de los costos de producción y en la exploración plena del potencial algal. Estos ingeniosos dispositivos, llamados fotobiorreactores, son recintos sellados y bañados en luz diseñados para generar materia orgánica bajo un control riguroso. Al encontrarse aislados del entorno exterior, minimizan la exposición a sustancias tóxicas y ofrecen un entorno optimizado en términos de pH, que refleja la acidez o alcalinidad de una sustancia, temperatura, luz y concentración de dióxido de carbono. (Sirohi, Kumar, Ranganathan, Singh, Udayan, Kumar, Hoang, Chilakamarry, Kim & Sim, 2022).

Dentro de la gama de fotobiorreactores, los modelos tipo "airlift" han capturado gran interés gracias a su destreza para cultivar poblaciones celulares densas. La adopción de estos fotobiorreactores ha sido objeto de investigación en el cultivo de microalgas, gracias a su habilidad para ofrecer un entorno de cultivo homogéneo y meticulosamente controlado. Tales fotobiorreactores presentan un diseño de biorreactor clásico, compuesto por un contenedor de doble zona interconectadas. A lo largo del tiempo, se han erigido fotobiorreactores "airlift" con múltiples configuraciones, moldeadas por los procesos a implementar. Estos dispositivos pueden ser categorizados según su método de circulación, aportando flexibilidad y adaptabilidad a diversas aplicaciones.

En comparación con los fotobiorreactores de tanque agitado, presentan ventajas notables, como una distribución de estrés más suave y su construcción y escalabilidad sencillas, todo ello a un costo reducido.

Sin embargo, la ausencia de un mecanismo de agitación también conlleva desventajas, como una mezcla deficiente en cultivos altamente viscosos y una propensión significativa a la formación excesiva de espuma bajo condiciones de alta aireación. Dharmaraja, Shobana, Huy, Vatland, Ashokkumar & Kumar (2023) mencionan que un fotobiorreactor "airlift" en forma rectangular presenta una eficacia fotosintética efectiva, aunque su diseño complejo y los desafíos en su expansión plantean ciertos inconvenientes. Esto ha motivado la exploración de diversas configuraciones de fotobiorreactores "airlift", incluyendo la opción de los biorreactores de columna con burbujas internas (Gilmour & Zimmerman, 2020), otras alternativas en esta búsqueda incluyen los biorreactores de tubo de burbuja (Zhou, Lu, Han & Li, 2020) y los biorreactores de doble burbuja (Yaqoubnejad, Rad & Taghavijeloudar, 2021).

En lo que respecta a la técnica de conteo rápido de células, esta se ha empleado exitosamente para lograr una estimación precisa de la densidad celular en los cultivos de microalgas. Este método se apoya en la captura de la luz emitida por las células vivas y su separación de las señales de fondo, permitiendo una medición confiable de la concentración celular (Subía & Rubio, 2018; Chuka-ogwude, Ogbonna & Moheimani, 2021; Greses, Tomás-Pejó, Markou & González-Fernández, 2022).

Hoy en día, los medios de cultivo sintéticos, a pesar de su alta eficacia, generan preocupaciones en la comunidad científica y ambiental debido a su potencial impacto ambiental. El continuo desarrollo de nuevas sustancias químicas plantea riesgos tanto para el entorno como para la salud humana y animal. En busca de alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, se exploran medios de cultivo naturales y formulados a partir de residuos orgánicos para mitigar estos efectos negativos.

Propósito del análisis

El enfoque principal radica en investigar cómo diversos tipos de medios de cultivo impactan la velocidad de crecimiento de la "*Nannochloropsis oculata*", mientras se cultiva en fotobiorreactores "airlift", este estudio busca revelar las influencias clave que determinan el desarrollo de esta especie en un entorno de cultivo controlado.

Se realizó una comparación exhaustiva entre la tasa de crecimiento de la microalga y parámetros físicos de control. Los resultados arrojados por esta comparativa podrían desentrañar medios de cultivo naturales de alta eficacia, al mismo tiempo que proporcionan datos valiosos sobre la velocidad de crecimiento específica de la microalga en cada medio examinado.

Este tipo de análisis, que evalúa la interacción entre medios de cultivo y el crecimiento de microalgas en fotobiorreactores "airlift" utilizando la técnica de conteo rápido de células, desempeña un papel esencial en la optimización de la producción de estas microalgas con aplicaciones diversificadas en múltiples sectores industriales. Este rango de investigación abarca un espectro amplio de posibilidades, que se extiende desde la producción de biocombustibles hasta la manufactura de alimentos y productos cosméticos derivados de estas pequeñas pero prometedoras formas de vida.

Área de exploración

Este estudio fue desarrollado en las instalaciones del «Laboratorio Planta Piloto #3 'Tratamiento Atmosférico y de Residuos Sólidos'» de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), y que se encuentra ubicada en el municipio de Centro, Tabasco, México.

Para dar inicio, se llevó a cabo una búsqueda meticulosa y selectiva de información relevante sobre los temas en cuestión, incluyendo el cultivo de la microalga ("*Nannochloropsis oculata*"), fotobiorreactores "airlift", medios de cultivo, parámetros de crecimiento, cinética de crecimiento, nutrientes y el incremento de microalgas.

Diseño de los fotobiorreactores (FBR)

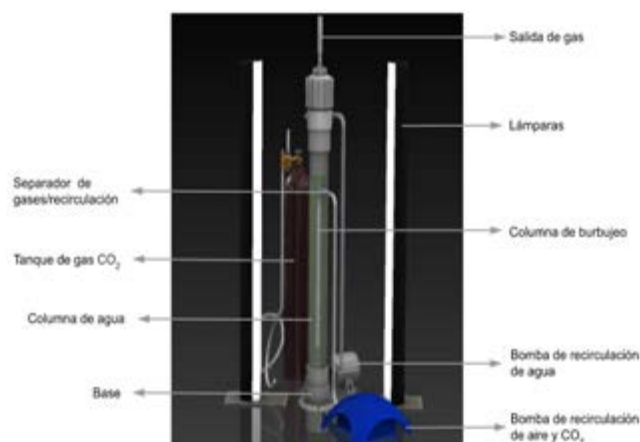
Se implementaron específicamente FBR "airlift" de diseño tubular en plástico, los cuales se dispusieron en una configuración vertical. La elección de FBR de sistema cerrado se hizo con el propósito de lograr un control óptimo a lo largo del proceso biológico, esto permitió supervisar el movimiento y flujo del cultivo, es decir, la circulación del líquido, reduciendo así el riesgo de contaminación por microorganismos no deseados.

Esta decisión tuvo el beneficio adicional de minimizar el consumo de agua, proporcionar una notable relación superficie-volumen, asegurar una alta productividad de materia orgánica y potenciar la capacidad de captura del dióxido de carbono.

Para el proceso de agitación, se incorporaron bombas de recirculación y se empleó una bomba de aireación. En la parte superior, se integró un dispositivo eliminador de gases, diseñado para facilitar la liberación de los gases producidos dentro de los fotobiorreactores. La configuración del FBR "airlift" empleado involucra varios componentes clave, estos incluyen la base del FBR, las lámparas, la columna de agua, la columna de burbujeo, las bombas de recirculación de aire y dióxido de carbono, la salida del gas (eliminador de gas), la bomba de recirculación de agua, el separador de gases/recirculación y el tanque de gas de dióxido de carbono (fotografía 1).

En el proceso de cultivo, los parámetros críticos para el desarrollo óptimo de la microalga comprenden la luz, la temperatura y el pH. Para la iluminación, se emplearon lámparas LED de luz blanca neutra de 17 watts (W) que generan 900 lúmenes cada una en un fotoperiodo de 12/12 horas y se adaptaron mediante un dispositivo que mide la longitud de onda de la luz, el valor de longitud de onda fue de 550.0 nanómetros.

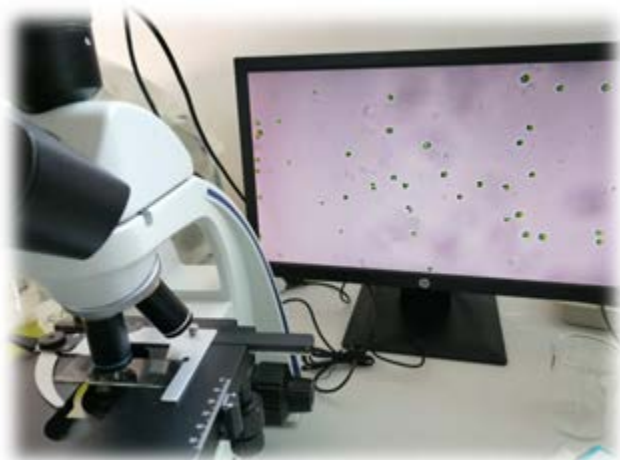
La temperatura experimentó variaciones en el rango de 24 a 30 grados Celsius (°C), mientras que el pH se mantuvo en un rango de valores entre 8 y 9. Se contó con un dispositivo portátil Sension® MM156 para la medición y control en el entorno de cultivo.



Fotografía 1. Partes características de un fotobiorreactor "airlift" (imagen de Laines Canepa, J.R.).

Origen de muestras y cultivos

Las muestras de "*Nannochloropsis oculata*" se obtuvieron del banco de microalgas de la Universidad de Texas. Para evaluar la pureza y calidad de estas, se empleó un microscopio óptico con la finalidad de cuantificar la cantidad de microorganismos iniciales requeridos para dar inicio al proceso de cultivo (fotografía 2).



Fotografía 2. "*Nannochloropsis oculata*" observada a través del microscopio óptico (imagen propia de los autores).

Es de suma importancia asegurarse de que la cantidad inicial de microalgas sea adecuada, ya que un número muy bajo podría desencadenar pérdidas debido a la exposición a la luz, mientras que una cantidad excesiva podría resultar en pérdidas ocasionadas por la respiración o un aprovechamiento ineficaz de la energía lumínica.

Siguiendo este enfoque, se agregaron 50 mililitros por litro (mL/L) de inóculo a tres fotobiorreactores "airlift", excluyendo el FBR de referencia. Luego de completar el montaje de los fotobiorreactores y cultivar la microalga, se llevaron a cabo las primeras mediciones para mantener un seguimiento del crecimiento en cada uno y para permitir una comparación al final.

A lo largo de este proceso, es fundamental verificar la calidad de la muestra en cada etapa de las diversas escalas de cultivo.

Medios de cultivo. Durante el estudio se evaluaron medios de cultivo combinados de diferentes maneras: el medio F/2 Guillard sintético, BiolCatre® y multivitamínicos.

Estos medios proveen los nutrientes esenciales para promover el desarrollo óptimo de la microalga "*Nannochloropsis oculata*".

El medio F/2 Guillard constituye una mezcla estandarizada de diversos compuestos y diseñada para fomentar el crecimiento máximo de las algas. De manera similar, se empleó el *Biol*, un biodigestato obtenido a través de un proceso de digestión biológica anaeróbica con diversas excretas como borrego, cerdo, rumen, gallina ponedora y vaca, producido en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) (fotografía 3) y registrado bajo el nombre de BiolCatre®, útil como fuente natural de elementos y nutrientes ideales para el crecimiento de las microalgas.

Tener un entendimiento de los componentes químicos fundamentales presentes en cada medio de cultivo resulta de suma relevancia (cuadro 1).

Se establecieron cuatro grupos experimentales en fotobiorreactores "airlift", a cada uno de los cuales se les añadió 2.5 litros (L) de agua destilada y 35 g/L de sal adquirida en la Universidad de Texas. El primer fotobiorreactor (FBR 1 blanco) recibió 930 microlitro (μL) de medio F/2 Guillard sintético y 930 μL de multivitamínicos (vitaminas B12, tiamina y biotina), pero no se añadieron algas.

El segundo fotobiorreactor (FBR 2) recibió 930 μL de medio F/2 Guillard sintético, multivitamínicos y algas (50 mL/L de inóculo). El tercer fotobiorreactor (FBR 3) recibió 930 μL de Biol (BiolCatre®), multivitamínicos y algas (50 mL/L de inóculo). El último fotobiorreactor (FBR 4) recibió 930 μL de Biol (BiolCatre®) y algas (50 mL/L de inóculo).



Fotografía 3. Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) en la DACBiol-UJAT.

Medición y registro de valores

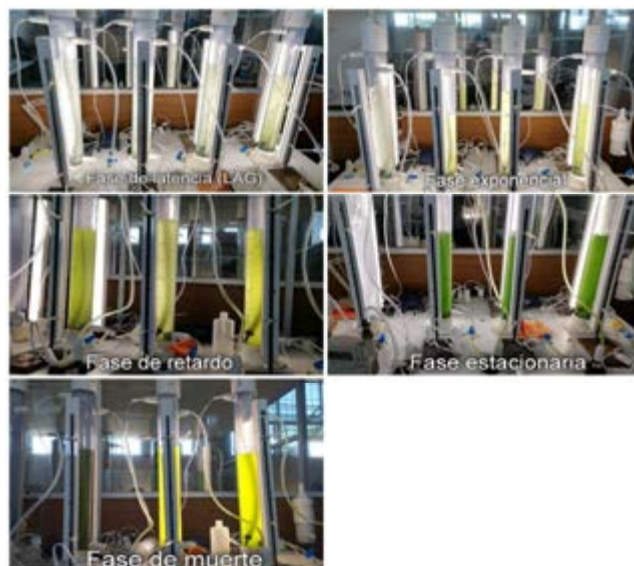
A lo largo del período de análisis de 21 días, se llevaron a cabo mediciones diarias de los parámetros correspondientes en los fotobiorreactores.

Los parámetros de control que se midieron incluyeron la temperatura, pH, turbidez, color aparente y sólidos suspendidos totales. Con el fin de regular los valores elevados de pH, se introdujeron 200 mL de dióxido de carbono (CO_2) durante un lapso de 30 segundos, seguido de un período de espera de 15 minutos antes de llevar a cabo una nueva medición. La cuantificación de las microalgas se efectuó mediante el método de Neubauer, mientras que la absorción de luz se registró mediante el uso de un espectrofotómetro, un dispositivo de laboratorio que mide la cantidad de luz absorbida o transmitida por una muestra.

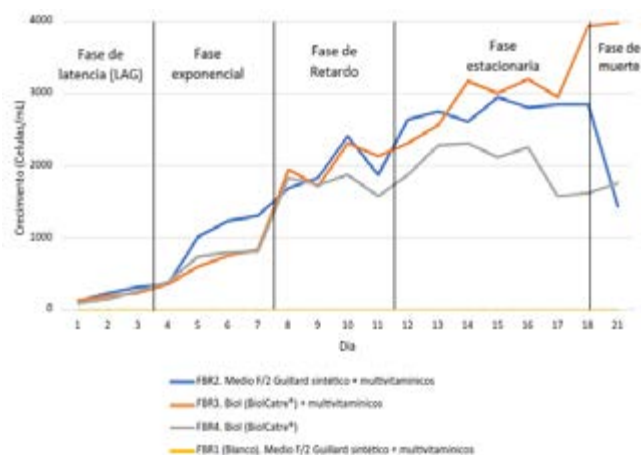
Fases de crecimiento de la microalga. A lo largo del proceso de cultivo se pudieron apreciar claramente las diferentes fases de crecimiento de la *Nannochloropsis* ("*N. oculata*") (fotografía 4). Se muestra la representación gráfica del ritmo diario de crecimiento (gráfica 1), en la que se distingue la fase inicial de latencia en todos los FBR, seguida por una etapa de crecimiento exponencial en los FBR 2, 3 y 4.

Estos últimos corresponden a los casos en los que se añadió la muestra inicial de microalgas y se utilizaron diversas combinaciones de medios de cultivo. En el caso del FBR 1, empleado como referencia y en el cual no se incorporaron microalgas, no se detectó crecimiento, lo que sugiere la ausencia de contaminación por microorganismos no deseados.

Durante la fase estacionaria, que se presentó aproximadamente en el día 11, se observó una disminución en la tasa de crecimiento de las microalgas en todos los fotobiorreactores "airlift" a partir del día 15. Sin embargo, el FBR 3, que contenía el medio de cultivo BioCatre® con multivitamínicos, mantuvo un crecimiento diario elevado a lo largo de toda la fase. Se notó una diferencia de 453.2 células/mL con respecto al FBR 2 y 693.6 células/mL en comparación con el FBR 4 al finalizar esta etapa.



Fotografía 4. Desarrollo de la microalga en el laboratorio (imagen propia de los autores).



Gráfica 1. Cinética de crecimiento (diario) del cultivo de microalgas en diferentes medios de cultivo.

Estos hallazgos concuerdan con investigaciones anteriores que han resaltado la relevancia de los nutrientes en el desarrollo de las microalgas, incluyendo aquellos de origen natural (Morales, Álvarez, Burelo, Centeno & Amador-del Ángel, 2018). Asimismo, los resultados señalan que el medio de cultivo que incorpora BiolCatre® fue el más eficaz para sostener un crecimiento continuado de "*N. oculata*" durante la fase estacionaria.

Proceso de crecimiento. Los resultados relativos al incremento en el número de células se correlacionaron con los parámetros de control rápido, como la turbidez, el color aparente y los sólidos suspendidos totales. También se estableció una conexión al relacionar la absorción de luz mediante un modelo de regresión. Este modelo, en forma de fórmula matemática, contribuye a la comprensión de cómo un factor varía en respuesta a cambios en otro factor.

Parámetros físicos de control rápido. Se llevaron a cabo análisis de turbidez, color aparente y sólidos suspendidos totales (SST) en los tres medios de cultivo sometidos a evaluación.

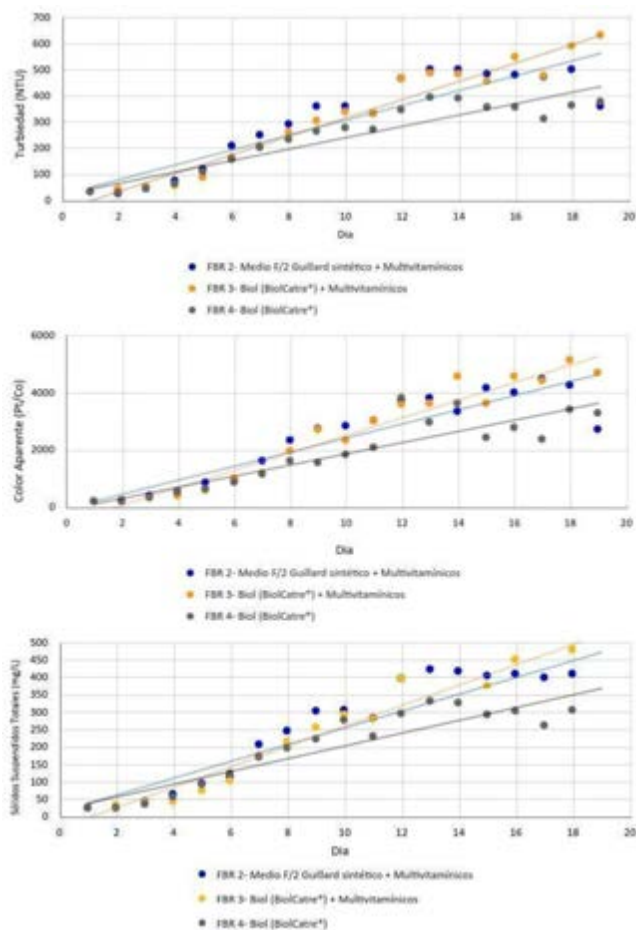
Se observó que en el FBR 3, donde se empleó BiolCatre® con multivitamínicos, se registraron los niveles más elevados. Esto sugiere que esta combinación es especialmente propicia para el crecimiento de las microalgas.

En contraste, los valores más bajos se obtuvieron en el FBR 4, que contenía exclusivamente BiolCatre®. Además, se presentan las ecuaciones que caracterizan la cinética química de los parámetros de medición diarios (gráfica 2). Estos resultados insinúan que la combinación de BiolCatre® con multivitamínicos es crucial para la optimización de las variables físicas y la facilitación de un crecimiento microalgal más eficaz.

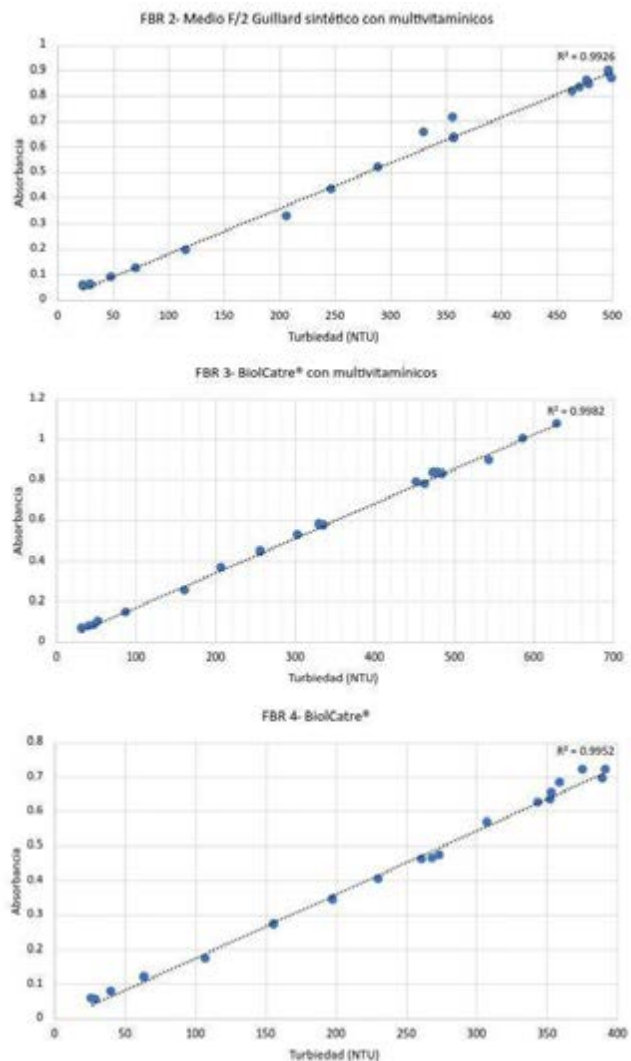
Los valores obtenidos concuerdan con investigaciones anteriores que han identificado una relación entre la turbidez y la densidad de microalgas (Martínez, Mairé & Bernard, 2018; Thoré, Schoeters, Spit & Van, 2021).

Proceso químico de parámetros. En relación con cada ecuación de velocidad de crecimiento (cuadro 2), se emplearon los coeficientes de determinación (R^2) como una forma de evaluar la calidad del ajuste de los puntos en una línea.

Al examinar los resultados, se constató que en el FBR 3, en el cual se empleó BiolCatre® con multivitamínicos y microalgas, se alcanzaron los valores más elevados de R^2 para la turbiedad (0.961), color aparente (0.953) y sólidos suspendidos totales (0.949). Por otro lado, el FBR 2, que utilizó el medio de cultivo F/2 Guillard sintético con multivitamínicos, exhibió los coeficientes de R^2 más bajos para la turbidez (0.825) y los sólidos suspendidos totales (0.819). Finalmente, en el caso del FBR 4, donde se empleó exclusivamente BiolCatre® y microalga, se registró el coeficiente de R^2 más bajo para el color aparente (0.814).



Gráfica 2. Evaluación de parámetros físicos de control rápido.



Gráfica 3. Correlación de turbiedad y absorbancia de FBR evaluados.

Estos coeficientes brindan una idea de cuán ajustados están los datos a las ecuaciones y ayudan a entender la relación entre los factores de crecimiento y los parámetros evaluados en el estudio.

Relación entre turbiedad y absorción de luz. Los resultados de la asociación entre estos dos elementos (gráfica 3) indican que la conexión más sólida se evidencia en el medio de cultivo del FBR 3, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.998. La figura también ilustra una correlación positiva y fuerte entre ambos durante el incremento en la población de microalgas.

A medida que los datos aumentan, las variables también lo hacen, lo que indica un mayor rendimiento de las muestras cultivadas en el medio de BiolCatre® con multivitamínicos en comparación con los otros medios analizados.

Cierre del estudio

Los resultados respaldan la premisa de que la elección de un medio de cultivo óptimo es esencial para alcanzar un alto crecimiento y densidad microalgal. Se observó que la combinación del medio BiolCatre® con multivitamínicos tuvo un impacto positivo en la microalga oculata ("*Nannochloropsis oculata*").

Adicionalmente, se confirmó que la turbidez puede servir como un indicador indirecto de la concentración en los tres medios evaluados, debido a la fuerte relación entre la turbidez y la densidad microalgal.

Estos hallazgos revisten importancia para la mejora de técnicas de producción más sostenibles y eficientes de estos microorganismos, además de abrir oportunidades para explorar sus aplicaciones potenciales en diversas industrias.

Agradecimientos

Al personal docente y técnicos de la Planta Piloto #3 Tratamiento Atmosférico y de Residuos Sólidos de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI), en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Cuadro 1. Componentes esenciales de medios de cultivo utilizados para el crecimiento de microalgas (Torrentera & Tacón, 1989).

Componente	Concentración		
	F/2 Guillard ¹	BiolCatre® ²	Multivitamínico ³
Nitrato de sodio: N (NaNO ₃)	75 g/L	1.0 g/L	
Fosfato monosódico monohidratado: P (NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O)	15 g/L	0.1 g/L	
Silicato de sodio: Si (Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O)	30 g/L		
Cloruro férrico hexahidratado: Fe (FeCl ₃ ·6H ₂ O)	3.5 g/L	34 g/L	
Sulfato de cobre pentahidratado: Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0.98 g/100 mL	9.4 g/L	
Cloruro de manganeso tetrahidratado: Mn (MnCl ₂ ·4H ₂ O)	18.0 g/100 mL	22 g/L	
Sulfato de zinc tetrahidratado: Zn (ZnSO ₄ ·4H ₂ O)	2.20 g/100 mL	35 g/L	
Molibdato de sodio dihidratado: Na (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)	0.63 g/100 mL		
Boro (B)		3.4 g/L	
Azufre (S)		0.1 g/L	
Vitamina B ₁₂			1.0 mg/L
Biotina			1.0 mg/L
Tiamina HCl			20.0 mg/L

Nota: ¹Solución de referencia del medio F/2 obtenida de la tabla 14 «Medio de Guillard» 14 (Stein 1979, citado por Torrentera & Tacón 1989);

²Solución concentrada; ³Solución en un 1 L de agua destilada (Schone & Schone 1982, citado por Torrentera & Tacón 1989).

Cuadro 2. Relación entre los indicadores de control y el crecimiento celular: resultados del análisis de regresión lineal.

Grupo experimental	Parámetro de control	Parámetros de regresión lineal	
		Ecuaciones ¹	R ²
FBR 2: Medio F/2 Guillard con multivitamínicos	Turbiedad	$C = 5.5382 TUR + 56.4293$	0.9551
	Color	$C = 0.6467 COLOR + 191.1615$	0.9454
	SST	$C = 6.4633 SST + 108.2006$	0.9453
FBR 3: BiolCatre® con multivitamínicos	Turbiedad	$C = 6.2980 TUR - 68.9162$	0.9609
	Color	$C = 0.7237 COLOR + 96.9637$	0.9559
	SST	$C = 7.5143 SST - 38.8787$	0.9551
FBR 4: BiolCatre®	Turbiedad	$C = 5.5562 TUR + 47.1420$	0.9049
	Color	$C = 0.5475 COLOR + 355.0992$	0.7545
	SST	$C = 6.5712 SST + 40.2836$	0.9131

Nota: ¹C= Crecimiento celular (células/mL); TUR= Turbiedad (NTU), COLOR= Color aparente (unidades Pt-Co), SST= Sólidos suspendidos totales (mg/L)

Referencias

- Andrade, B.B.; Cardoso, L.G.; Assis, D.J.; Costa, J.A.V.; Druzian, J.I. & da Cunha Lima, S.T. (2019). Production and characterization of "*Spirulina* sp." LEB 18 cultured in reused Zarrouk's medium in a *raceway*-type bioreactor. *Bioresource Technology*, 284: 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.144>
- Chuah, S.Y.; Dasan, Y.K.; Cheng, Y.W.; Lim, J.W.; Ho, Y.C.; Tan, I.S.; Yew Foo, H.C.; Kiew, P.L.; Leong, S.S. & Lam, M.K. (2020). The potential of attached growth of microalgae on solid surface for biomass and lipid production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 965(1): 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/965/1/012001>
- Chuka-ogwude, D.; Ogbonna, J.C. & Moheimani, N.R. (2021). Depth optimization of inclined thin layer photobioreactor for efficient microalgae cultivation in high turbidity digestate. *Algal Research*, 60: 102509. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102509>
- de Medeiros, V.P.B.; Pimentel, T.C.; Varandas, R.C.R.; Dos Santos, S.A.; de Souza Pedrosa, G.T.; da Costa Sassi, C.F.; da Conceição, M.M. & Magnani, M. (2020). Exploiting the use of agro-industrial residues from fruit and vegetables as alternative microalgae culture medium. *Food Research International*, 137: 109722. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109722>
- Dharmaraja, J.; Shobana, S.; Huy, M.; Vatland, A.K.; Ashokkumar, V. & Kumar, G. (2023). Chapter 2 - Design and scale-up of photobioreactors. In: Sirohi, R.; Pandey, A.; Sim, S.; Chang, J.S. & Lee, D.J. (Eds.); *Current developments in biotechnology and bioengineering - Photobioreactors: design and applications* (pp. 11–32). Elsevier Inc. ISBN 978-0-323-99911-3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99911-3.00010-5>
- Galina, D.; Porto P.S. da S. & Freitas, R.R. (2018). Estudo das tecnologias para produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero "*Nannochloropsis*". *Research, Society and Development*, 7(12): e5712482. <https://doi.org/10.33448/rsd-v7i12.482>
- Gilmour, D.J. & Zimmerman, W.B. (2020). Chapter One - Microbubble intensification of bioprocessing. *Advances in Microbial Physiology*, 77: 1–35. <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2020.07.001>
- Greses, S.; Tomás-Pejó, E.; Markou, G. & González-Fernández, C. (2022). Microalgae production for nitrogen recovery of high-strength dry anaerobic digestion effluent, *Waste Management*, 139: 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.043>
- Lubián, L.M.; Montero, O.; Moreno-Garrido, I.; Huertas, I.E.; Sobrino, C.; González-del Valle, M. & Parés, G. (2000). "*Nannochloropsis*" (Eustigmatophyceae) as a source of commercially valuable pigments. *Journal of Applied Phycology*, 12(3-5): 249–255. <https://doi.org/10.1023/A:1008170915932>
- Martínez, C.; Mairet, F. & Bernard, O. (2018). Theory of turbid microalgae cultures. *Journal of Theoretical Biology*, 456: 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.07.016>
- Minhas, A.K.; Gaur, S. & Adholeya, A. (2023). Influence of light intensity and photoperiod on the pigment and, lipid production of "*Dunaliella tertiolecta*" and "*Nannochloropsis oculata*" under three different culture médium. *Heliyon*, 9(2): e12801. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12801>
- Morales Martínez, A.L.; Álvarez Cardoza, P.D.; Burelo Magaña, M.Á.; Centeno Metelín, A.M. & Amador-del Ángel, L.E. (2018). Crecimiento de "*Nannochloropsis* sp." a tres concentraciones de inóculo cultivada con medio F/2 y el biofertilizante Biol-CATRE. En: Perera García, M.A.; Pérez Vega, M.H. & Gómez Díaz-Durán, L.M. (Eds.); *Producción y manejo de los recursos acuáticos en el trópico* (Edición digital; pp. 2–15). ISBN: 978-607-606-447-4. https://archivos.ujat.mx/2018/DACA/publicaciones/Produccion_y_Manejo_de_los_Recurso_Acuaticos_en_el_Tropico/180307%20Produccion%20y%20Manejo%20de%20Recursos%20Acuaticos.pdf
- Parsy, A.; Sambusiti, C.; Baldoni-Andrey, P.; Elan, T. & Périé, F. (2020). Cultivation of "*Nannochloropsis oculata*" in saline oil & gas wastewater supplemented with anaerobic digestion effluent as nutrient source. *Algal Research*, 50: 101966. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2020.101966>

Rehmanji, M.; Suresh, S.; Nesamma, A.A. & Jutur, P.P. (2021). Microalgal cell factories, a platform for high-value-added biorenewables to improve the economics of the biorefinery. *Microbial and Natural Macromolecules: Synthesis and Applications*, 689–731. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820084-1.00027-2>

Sirohi, R.; Kumar Pandey, A.; Ranganathan, P.; Singh, S.; Udayan, A.; Kumar Awasthi, M.; Hoang, A.T.; Chilakamarthy, C.R.; Kim, S.H. & Sim, S.J. (2022). Design and applications of photobioreactors- a review. *Bioresource Technology*, 349, 126858. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.126858>

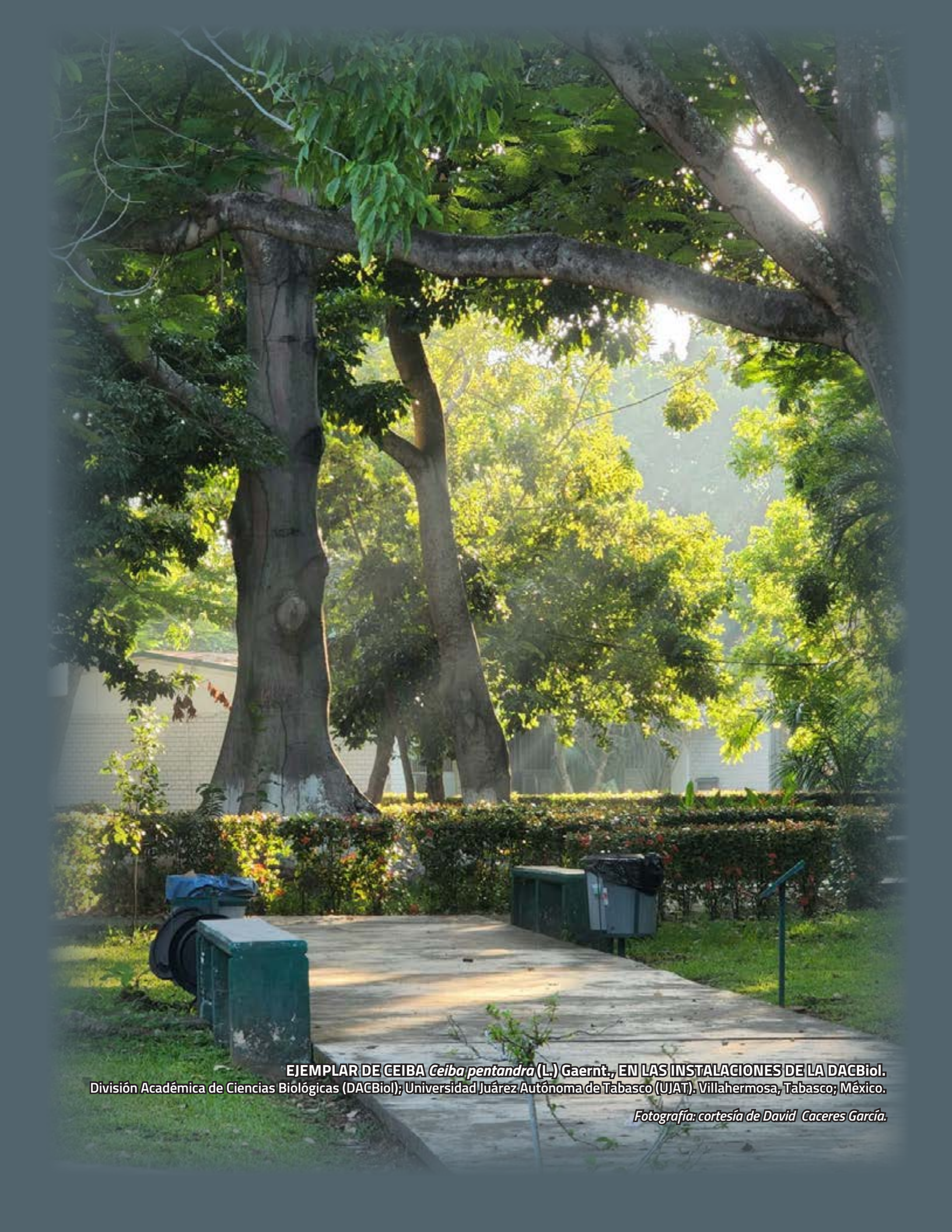
Subía, S. & Rubio, J. (2018). Evaluación de biomasa de microalgas de la laguna Limoncocha como materia prima para la obtención de biocombustibles. *Enfoque UTE*, 9(2): 106–116. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.199>

Thoré, E.S.J.; Schoeters, F.; Spit, J. & Van Miert, S. (2021). Real-Time Monitoring of Microalgal Biomass in Pilot-Scale Photobioreactors Using Nephelometry. *Processes*, 9(9): 1530. <https://doi.org/10.3390/pr9091530>

Torrentera Blanco, L. & Tacón, A.G.J. (1989). II. Cultivo de microalgas. En: Autores; *La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura: una diagnosis* (Documento preparado para el proyecto GCP/RLA/075/ITA en apoyo a las actividades regionales de acuicultura para America latina y el Caribe). Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO) – [Web]. <https://www.fao.org/4/AB473S/AB473S02.htm>

Yaqoubnejad, P.; Rad, H.A. & Taghavijeloudar, M. (2021). Development a novel hexagonal airlift flat plate photobioreactor for the improvement of microalgae growth that simultaneously enhance CO₂ bio-fixation and wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 298: 113482. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113482>

Zhou, W.; Lu, Q.; Han, P. & Li, J. (2020). Microalgae cultivation and photobioreactor design. *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*, 31–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00003-5>



EJEMPLAR DE CEIBA *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., 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



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 Cáceres 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.