UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

JEEOS

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability

2026



Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2026-050410175100-102. ISSN: 2448-8186

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.http://www.1atindex.unam.mx/ JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 10, No. 3, Año 2026, es una publicación continúa editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2026-050410175100-102, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 15 de diciembre 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

JEEOS

UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Transformación material en la vivienda chontal, caso de estudio: Huimango, Cunduacán, Tabasco 1-12
Campos-de Dios P.C.[1*], Govea-Ek A.[1]

Inhibición de corrosión en acero API 5L-X52 mediante extracto etanólico de *Tradescantia spathacea Sw* 13-25
Estrada-Hernández G. V., Figueroa-Ramírez S.J.[*], Sierra-Grajeda J.M.T., Santis Espinosa L.F., Benavides O., De la Cruz-May L

Efecto de las nanoparticulas metálicas sobre el crecimiento de la microalga *Coelastrella sp.* para la producción de biocombustible 26-37
Santis-Espinosa L.F[1*], Figueroa-Ramírez S.J.[1], Vargas-Estrada L.[2], López-Vidaña E.C.[3]

Influence of dopant material on a silicone polymer subjected to low-pressure air plasma treatments 38-52
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Paredes-Olguín M.[2], Avelar-Domínguez F.[1], Gadea-Pacheco J.L.[1], Sandoval-González A.[3]

Cambio en la producción de potencia empleando Na_2SO_4 en el cátodo de una celda de combustible microbiana 53-60
Fuentes-Albarrán M. del C.[1]*, Alarcón-Hernández F.B.[1], Cornejo-Tapia C.P.[1], Sandoval-González A.[2]

Estudio exploratorio del contenido de etanol en la pulpa de la T*hevetia peruviana* (Pers.) K. Schum en Yucatán, México 61-79
Koh-Echeverría L.E.[1], Amado-Méndez K.[2], Díaz-Ballote, L.F.J.[2], Herrera-Zamora, D.M.[2]*

Determinación de carbohidratos por HPLC: comparación de detectores UV-Vis *vs* índice de refracción 80-93
Fernández-Orozco I.V.[1], Grijalva-Haro M.I.[2], Madrigal-Diaz S.C.[1], Ojeda-Morales M.E.[1], Díaz-Reyes C.C.[1], García-López S.[1], Juárez-Zirate S.J.[3]*

Efecto de un plasma pulsado de aire en las propiedades superficiales de caucho butílico 94-103
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Garay-Galicia J.A.[1], Sandoval-Gonzáles A.[2]

Estudio del tiempo de fraguado en pastas de cemento con sustitución parcial por biocemento de ostión 104-116
Segundo-Díaz T. de J.[1], Mora-Ortiz R.S.[1]*, Díaz-Alvarado S.A.[1], Ramón-de los Santos C. [2]

Estudio teórico de un captador solar de aire con y sin material de cambio de fase 117-128
Álvarez-Alor B.[1*], Cruz-Valdez J. A. [2], Montalvo D. [3], López-Santos F.[1], Alvarado-Méndez P. E.[4], Zetina-Ríos I. I.[5].

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Efecto de las nanoparticulas metálicas sobre el crecimiento de la microalga *Coelastrella sp.* para la producción de biocombustible

Effect of metal nanoparticles on the growth of the microalga *Coelastrella sp.* for the production of biofuels

Santis-Espinosa L.F[1*], Figueroa-Ramírez S.J.[1], Vargas-Estrada L.[2], López-Vidaña E.C.[3]

[1]Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Carmen. Av. Central S/N Esq. Con Fracc. Mundo Maya, C.P. 24115. Ciudad del Carmen, Campeche, México.
[2]Laboratorio de Bioenergía, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privada Xochicalco S/N, C.P. 62580. Temixco, Morelos, México.
[3]Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Sede Durango, Durango.

Artículo Científico
Publicado: 15 de diciembre 2026

RESUMEN

El interés en el uso de microalgas se debe a su composición bioquímica, que permite la obtención de productos de alto valor, captadores de CO_2, pigmentos, fuentes sostenibles de biocombustibles y biofertilizantes. Además, tiene una capacidad de crecimiento y de generación de biomasa hasta 50 veces más rápido que las plantas. Para la producción de biodiésel se requieren microalgas que produzcan un alto contenido de lípidos en tiempos cortos de crecimiento. Recientemente, se ha demostrado que la aplicación de nanopartículas en microalgas durante el ciclo de cultivo mejora la tasa de crecimiento, la producción de lípidos y la biomasa. El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes condiciones de estrés, por la adición nanopartículas de óxidos metálicos (Fe_2O_3) y ausencia de nitratos, en la cepa *Coelastrella sp*. cultivada en medio BG-11 (Blue-Green Medium) en un periodo de 15 días y con agua residual durante 14 días en este periodo se llevó a cabo el monitoreo de la cinética de crecimiento, los cambios fisiológicos y moleculares de la microalga y de la tasa específica de crecimiento. Se puede destacar que la microalga *Coelastrella sp.* crece satisfactoriamente con la adición de 20 mg L^{-1} de nanopartículas de Fe_2O_3. Las microalgas con cultivadas, bajo esta concentración de Fe_2O_3 en agua residual, favorece a la producción de biomasa.
Palabras clave: Microalgas, *Coelastrella sp.*, nanopartículas metálicas, biocombustibles.

ABSTRACT

The interest in the use of microalgae is due to its biochemical composition, which allows obtaining high-value products, CO_2 collectors, pigments, sustainable sources of biofuels and biofertilizers. In addition, it has a capacity for growth and biomass generation up to 50 times faster than plants. To produce biodiesel, microalgae that produce a high lipid content in short growth times are required. Recently, it has been shown that the application of nanoparticles in microalgae during the culture cycle improves growth rate, lipid production and biomass. The objective of this study was to evaluate different stress conditions, due to the addition of metal oxide nanoparticles (Fe_2O_3) and the absence of nitrates, in the *Coelastrella sp*. cultured in BG-11 (Blue-Green Medium) medium

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

for a period of 15 days and with residual water for 14 days during this period, monitoring of the growth kinetics, physiological and molecular changes of the microalgae, and the specific growth rate was carried out. It can be highlighted that the microalga Coelastrella sp. grows satisfactorily supplemented with 20 mg L^{-1} of Fe_2O_3 nanoparticles grown in wastewater and that the addition of nanoparticles favors biomass production.
Keywords: Microalgae, *Coelastrella sp.,* Metal nanoparticles, biofuels.

INTRODUCCION

Para responder al cambio climático actual, al menos la mitad de la producción de energía hacia el 2030 debería provenir de tecnologías bajas o cero emisiones [1]. Entre las energías renovables, la bioenergía se destaca por su aspecto único de reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y su capacidad para llevar a cabo la absorción de carbono [2]. Una de las propuestas con mayor auge en la obtención de bioenergía, incluyen como materia prima el uso de microalgas puesto que son microrganismos que tienen capacidades fotosintéticas efectivas comparadas con las plantaciones de cultivos bioenergéticos, que están compuestos, principalmente por proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales y pigmentos, lo que permite la obtención de productos de alto valor. *Coelastrella* es un género de algas verdes de la familia *Scnedesmus*, la especie de este género muestran una alta propensión a acumular carotenoides y ácidos grasos, especialmente ácidos grasos poliinsaturados omega-6 (n-6) a omega-3 (n-3) y muestran una buena resistencia a diversos tipos de estrés. Algunas especies también se han propuesto para aplicaciones en biorremediación, eliminación de nutrientes y producción de nanopartículas [3].

Existen diversas limitaciones con las tecnologías disponibles, asociadas con altos costos en la producción de biocombustibles y en los tiempos de operación a escala industrial. Los procesos adaptados para la conversión de diversos tipos de materias primas al producto deseados son diferentes dependiendo de las diversas técnicas y materiales utilizados.

El uso de nanomateriales en la investigación de biocombustibles se ha convertido en una herramienta prometedora para mejorar la producción de biocombustibles al superar los desafíos fisicoquímicos y biológicos del procesamiento de biomasa. Las nanopartículas (NPs) tienen múltiples ventajas frente a otras fuentes macroscópicas gracias a su mayor área superficial, para la síntesis de biocombustibles debido a su tamaño, a la elevada relación superficie/volumen y atributos especiales como un grado significativo de cristalinidad, actividad catalítica, capacidad de adsorción y estabilidad términos de selectividad, eficiencia energética, tiempo de gestión, reducción de costos [4] [5].

Recientemente Vargas-Estrada et al., demostró la optimización de la tasa de crecimiento, la absorción de CO_2, la producción de lípidos y la biomasa se ha utilizado la aplicación de nanopartículas metálicas en microalgas durante el ciclo de cultivo, considerando la concentración, origen, tamaño y los compuestos de estas nanopartículas [6].

En este estudio se manejó la especie de microalga *Coelastrella* sp evaluando las condiciones de estrés bajo diferentes ambientes de cultivo, por la adición de nanopartículas de óxidos metálicos

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

(Fe_2O_3) con diferentes concentraciones, ausencia de nitratos, cultivada en un medio BG-11 (Blue-Green Medium) las primeras 3 corridas y las ultimas 2 con agua residual (AR) obtenida de la planta de tratamiento del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER, UNAM), en este periodo se llevó a cabo el monitoreo de la cinética de crecimiento, los cambios fisiológicos y moleculares de la microalga y de la tasa específica de crecimiento.
Se puede destacar que la microalga *Coelastrella* sp. crece satisfactoriamente suplementado con 20 mg L^{-1} de nanopartículas de Fe_2O_3. Los resultados muestran que la adición de nanopartículas mejora el crecimiento de la microalga y por ende la producción de biomasa.

METODOLOGÍA

En la **Figura 1** se muestra el diseño experimental donde se cultivó en un medio BG-11 dividida en tres corridas (C1, C2 y C3) y las últimas dos corridas (C4 y C5) fueron cultivadas en agua residual. Se determinó la cinética poblacional, la densidad óptica, la clorofila, el total de sólidos suspendidos, la remoción de nutrientes en el agua residual (AR); y al finalizar el tiempo de cada cultivo, se separó la microalga por el método de centrifugación (3000 rpm, 5 minutos), se secó mediante una liofilizadora (-110 °C, 0.049 hPa), para realizar la extracción de lípidos.

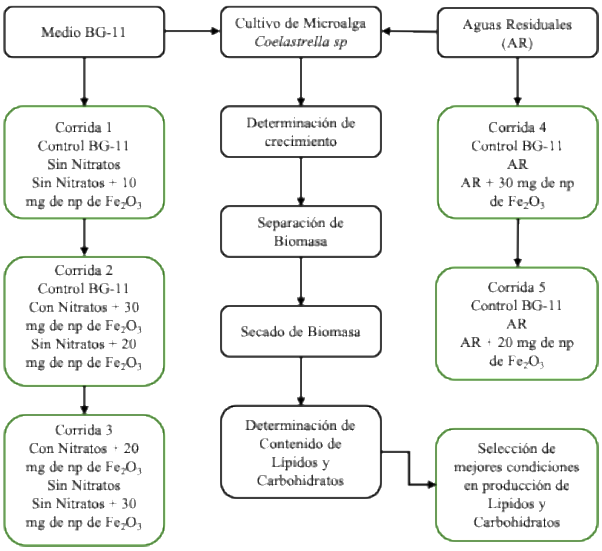


Figura 1. Metodología experimental.

Calidad de Agua. Existen diversas limitaciones con las tecnologías disponibles, asociadas con altos costos en la producción de biocombustibles. El tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de microalgas ha sido reportado con eficiencias del 90%, la producción de biomasa con alto nivel de lípidos y carbohidratos y el acoplamiento del tratamiento de aguas residuales a la producción de biocombustibles a partir de la biomasa generada [7].
Descripción del Agua Residual. Para el cultivo de las microalgas se utilizó agua residual proveniente de la planta de tratamiento del IER, UNAM.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

Acorde con la descripción de Vargas Estrada, 2023, la planta de tratamiento de AR consta de un depósito colector de cribado, que se dirige a un decantador primario donde se separan los sólidos sedimentables.

Las aguas residuales se canalizan a dos digestores aeróbicos y después a un separador de sólidos de alta carga para separar los lodos secundarios. Los lodos secundarios se recirculan al decantador primario y el agua tratada se dirige a un tanque de desinfección donde se añade hipoclorito sódico. Por último, el agua tratada pasa por un filtro de arena y grava para su eliminación final. **Figura 2.**

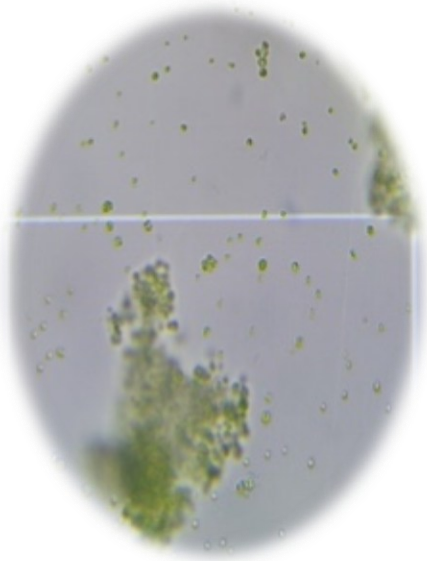


Figura 2. Microalga *Colastrella sp*., cultivada en un medio de control (BG-11). Microscopio óptico Amscope en condiciones de 10x.

Pre-cultivo. La cepa de la microalga Coelastrella sp pertenece a la colección de cultivos del Laboratorio de Bioenergía del IER, la cepa fue donada por Universidad Autónoma de Morelos (UAM). Se aisló por la técnica de rayado en estrías en una caja de Petri con agar [8], en un medio de BG-11 una temperatura de 4°C. Las células de las microalgas crecieron a temperaturas de 22 a 29°C en ciclos de luz/oscuridad, resembrando hasta obtener un aislado puro. El medio BG-11 empleado para esta investigación se ha preparado con las instrucciones de Culture Collection of algae and Protozoa, en su última revisión en el 2020 [9] [10]. **Figura 3.**

El pre-cultivo de la microalga *Coelastrella* sp se incubó en un medio SK-Enriquecido en matraces Erlenmeyer de 250 mL. Los matraces se incubaron con luz led, a temperatura ambiente (22 a 29°C), con agitación continua (300 rpm) para evitar la sedimentación del cultivo.

Cuando el inóculo alcanzó la fase estacionaria a los 8 días de cultivo. Una muestra de 5 mL fue centrifugada a 4000 rpm, 5 minutos. El sobrenadante se retiró cuidadosamente y el pellet se resuspendió en agua destilada. El proceso se repitió varias veces para asegurar el lavado de la

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

biomasa. Posteriormente, se determinó la cncentración de TSS de acuerdo con métodos estandarizados.

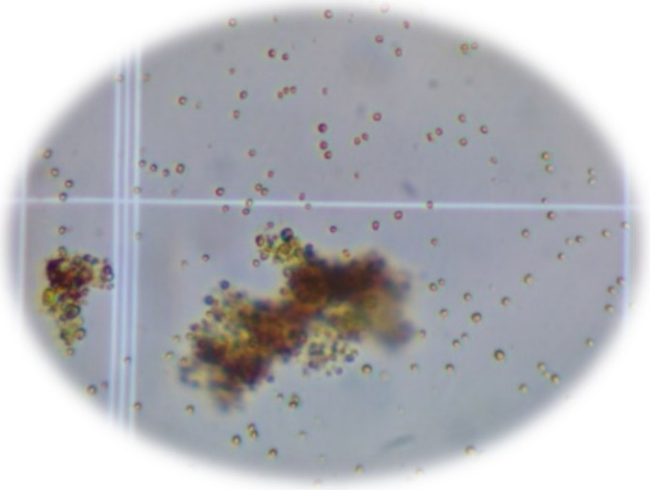


Figura 3. Adición de 20 mg NPs Fe_2O_3 cultivada en un medio BG-11 sin nitratos. Microscopio óptico Amscope a 10x.

Morfología. *Coestrella* es un género de algas verdes de la familia *Scenedesmus* (*Scenedesmaceae)* fue descrito por R. Chodat, 1922 [11]. Antes de la división celular, las células maduras son casi esféricas y miden (8.5) 9.7–14 (18.5) µm de diámetro. Las células envejecidas cambian frecuentemente de color a rojo ladrillo/naranja [3].

Tabla 1. Parámetros de cultivo.

No. Corridas	1	2	3	4	5
Días de Cultivo	15	15	15	14	14
	Corrida BG-11	Control BG-11	Con Nitratos + 20 mg de np de Fe_2O_3	Control BG-11	Control BG-11
Medios de Cultivo	Sin Nitratos	Con Nitratos + 30 mg de np de Fe_2O_3	Sin Nitratos	Agua Residual (AR)	Agua Residual (AR)
	Sin Nitratos + 10 mg de np de Fe_2O_3	Sin Nitratos + 20 mg de np de Fe_2O_3	Sin Nitratos + 30 mg de np de Fe_2O_3	AR + 30 mg de np de Fe_2O_3	AR + 20 mg de np de Fe_2O_3

Datos de experimentación.
Volumen: 0.5 L
Rango de temperatura: 17 a 28 ºC
Intensidad de Luz: 33 a 38 Lux

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

Aplicación de nanopartículas como suplemento de micronutrientes. Las estrategias actuales para mejorar los cultivos y maximizar la concentración de biomasa microalgal, se centran en el cultivo mixotrófico, la optimización de nutrientes mediante alimentación intermitente, y la adición de fuentes de carbono y espectros de luz específicos para lograr altas densidades celulares de biomasa [12].

En las corridas establecidas en el diseño de experimentos, mostrados en la **Tabla 1**, se añadieron nanopartículas metálicas de Fe_2O_3 a los medios de cultivo con 10 mgL^{-1}, 20 mgL^{-1} y 30 mgL^{-1}. Se prepararon soluciones stock con concentraciones diferentes evaluando el rendimiento del cultivo.

Parámetros de cultivo. Los siguientes parámetros de cultivo fueron elaborados en el laboratorio de Bioenergía del Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) de agosto a diciembre del 2022. Las condiciones experimentales a escala laboratorio en biorreactores en matraces Erlenmeyer de 0.5 L la C1, C2 y C3 con un medio BG-11, la corrida C4 y la C5 se cultivó con agua residual variando la concentración de NPs metálicas. Se llevo a cabo el cálculo de TSS para determinar el volumen del inóculo inicial. Las muestras se analizaron por triplicado bajo las condiciones descritas en la Tabla 1. La concentración de la biomasa fue determinada con la cinética de crecimiento la cual se determinó diariamente con una cámara de Neubauer mejorada a un aumento de 10x con un microscopio óptico Amscope®. El peso en seco medido al inicio y al final de cada experimento se realizó filtrando 10 mL de la muestra a través de filtros de fibra de vidrio de 47 nm y secándolos a 105°C, hasta alcanzar peso constante, acorde los métodos estándar, (APHA-AWWA-WPCF,1999). La densidad óptica fue medida diariamente con un espectrofotómetro UV-2550 Shimadzu Japan a 750nm. La determinación de clorofila se midió cada tercer día acorde el método de Vargas Estrada, 2023 [13], se midió la densidad óptica a una longitud de onda de 663 nm y 645 nm, calculada con la fórmula:

$$Chlorophyll\ a\ \left(\frac{mg}{L}\right) = (12.7 * A_{663}) - (2.6 * A_{645}) \qquad (1)$$

Donde, las corridas C4, C5 se determinó cada 2 o 3 días la remoción del amonio NH_4^+, acorde con Sólorzano, 1969 [14]. Para el caso del anásis del fósforo total, fue medido de acuerdo con fosfo-vanadiomolibdato, establecido en los métodos estándar, APHA-AWWAWPCFC,1998 [15]. Este análisis se determinó cada dos días durante el tiempo establecido de cultivo (promedio de 15 días), considerando la curva de cinética de crecimiento hasta la etapa estacionaría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética Población de *Coelastrella sp.* En la **figura 4** se muestran las siguientes gráficas donde se representa la cinética poblacional de *Coelastrella* sp, esta medición se realizó mediante en una cámara de Neubauer mejorada la cual tiene 0.1mm de profundidad y una reglilla con nueve cuadrados de 1mm por cada lado, cada uno de los cuales corresponde a un volumen de 0.1µL. Se tomaron 100µL del caldo del cultivo, las cuales fueron diluidas con agua destilada para la viabilidad en el conteo celular.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

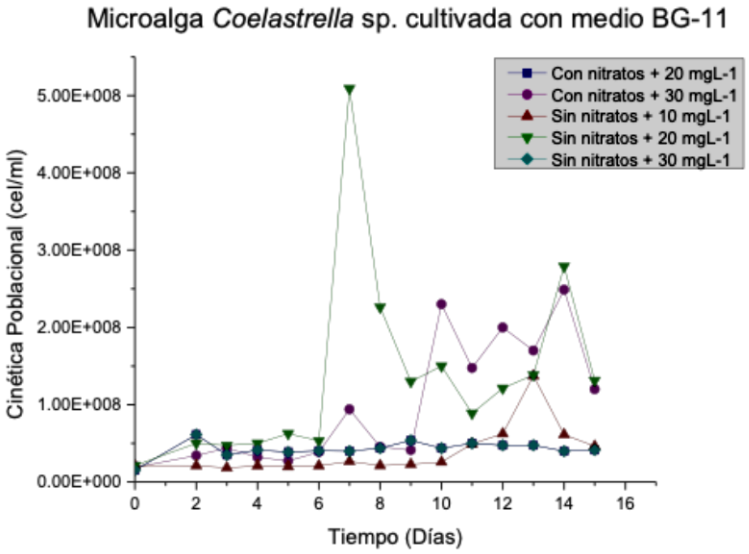


Figura 4. Cinética poblacional de la microalga *Coelastrella sp*, para medio de control (BG-11) y diferentes concentraciones de Fe_2O_3 .

Se realizaron las corridas establecidas en el diseño experimental, donde fueron variadas las condiciones en el medio de cultivo BG-11 (con nitratos, sin nitratos) y se adicionaron nanopartículas metálicas de Fe_2O_3 con diferentes concentraciones, 10 mgL^{-1}, 20 mgL^{-1} y 30 mgL^{-1}, respectivamente, descritas en la tabla 1. Se observa que se obtuvieron variaciones en el crecimiento para cada condición de medio de cultivo. Los puntos donde decrece la curva y luego aumentaba, se asocian a la variación de velocidades de crcimiento de los microorganismos. Del día 1 al día 5 presentan la fase logaritmica, del día 6 al 11 la fase exponencial, del 12 al día 13 la fase estacionaria y del día 14 al 16 se observa la fase de muerte en los microorganismos.
Como se observo en la figura 4, se demostró que las condiciones con un crecimiento representativo fueron las de medio de cultivo BG-11 sin nitratos adicionando 20 mgL^{-1} y 30 mgL^{-1} de NPs Fe_2O_3, la cual se procedió a cultivarse en agua residual de la planta de tratamiento del IER-UNAM.

En la **Figura 5**, se evalua cualitativamente la cinética poblacional y se observa que en ambas condiciones no inhibe el crecimiento, pero suplementando con 20 NPs Fe_2O_3 la cinética de crecimiento fue más representativa.

La remoción de NH_4^+ y PO_4^-

Durante el cultivo de las corridad 4 y 5 se evaluó la asimilación de amonio (NH_4^+) y fosfato (PO_4^-) a partir de la planta de tratamiento de agua residuales del IER-UNAM. La concentración de NH_4^+ y PO_4^- en cada biorreactor se monitoreaba cada 72 horas, por triplicado durante los 14 días de medición del estudio.

En la **Figura 6**, se observa el consumo de NH_4^+ y PO_4^-, realizado por la microalga *Coelastrella* sp durante el periodo de crecimiento, en ambas condiciones la velocidad y consumo de nutrientes se

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

dio durante los 14 días del cultivo, mismas que permitió el crecimiento óptimo del microorganismo, esto quiere decir que hubo un consumo algar activo. Las tasas de remoción alcanzadas por *Coelastrella sp.* en ambos nutrientes fue casi en su totalidad. El rendimiento rendimiento obtenido muestra que el uso de la microalga podría ser implementado para tratar aguas residuales y ser aprovechas con fines de irrigación de cultivo.

Las concentraciones obtenidas de nutrientes en esta investigación son insuficientes para lograr concentración de biomasa algar significativa, esto se justifica ya que el agua residual de cultivo esta previamente tratada.

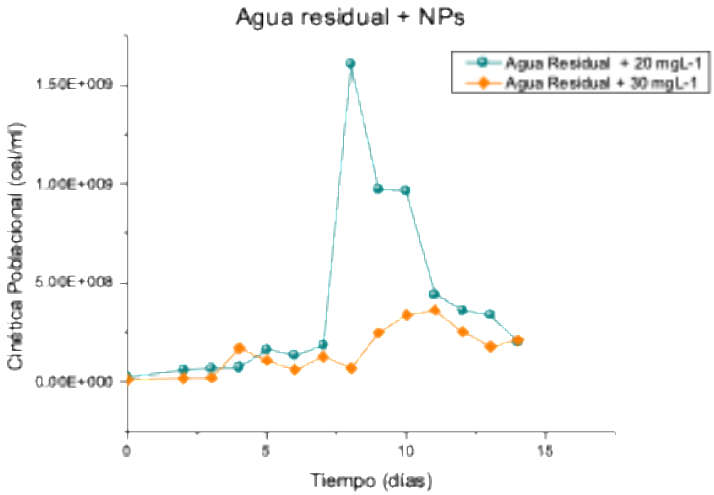


Figura 5. Cinética Poblacional con adición de nanopartículas metálicas Fe_2O3 cultivadas en Agua Residual de la planta de tratamiento del IER-UNAM.

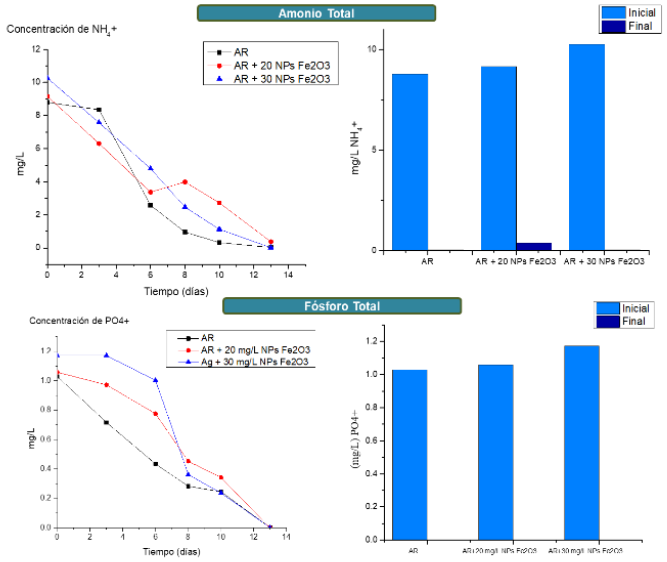


Figura 6. Consumo de nutrientes de NH_4^+ y PO_3^- contenidos al inicio y final del estudio.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

Análisis del contenido bioproductos de la biomasa. La cuantificación de lípidos y carbohidratos totales expuesto en la **Tabla 2** y **Figura 7**, muestran que un porcentaje del 14% de lípidos en peso seco para el medio de Agua Residual + 20 NPs de Fe_2O_3, seguido de 11% para Agua Residual + 30 NPs de Fe_2O_3, 10% de Agua Residual y el 12% para el Control. y para la cuantificación de los carbohidratos un 22% Agua Residual + 20 NPs de Fe_2O_3, 20% Agua Residual + 20 NPs de Fe_2O_3, 19% de Agua Residual y un 18% para el control.

Tabla 2. Concentración de lípidos y Carbohidratos

Composición de Biomasa	Lípidos*		Carbohidratos**	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estandar
Control	11.761	0.593	19.255	0.725
Agua Residual	10.211	1.825	19.136	3.162
Agua Residual + 30 NPs	11.152	3.462	19.863	0.674
Agua Residual + 20 NPs	13.495	2.537	21.920	0.326

*: Método Bligh y Dyer (B & D) o Folch utilizando cloroformo/metanol/agua.
**: Método Dubois.

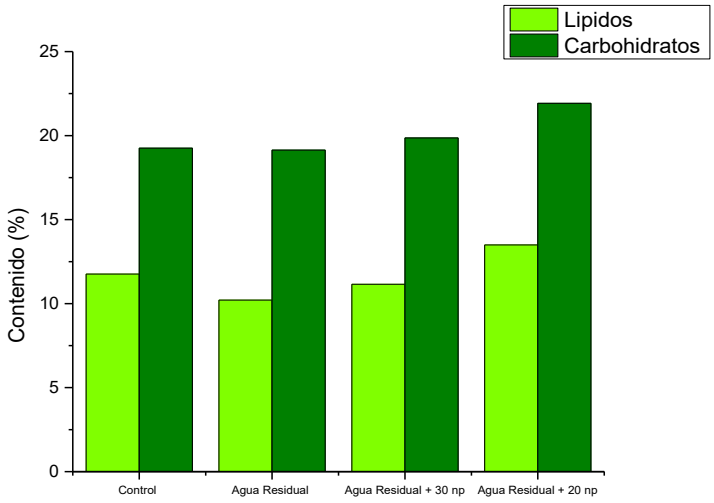


Figura 7. Concentración de lípidos y carbohidratos obtenidos al final del estudio.

Análisis FITR de la biomasa seca previa y posterior a la extracción de lípidos. Para el análisis de espectrometría como patrón de referencia se utilizó un aceite comercial de marca patrona (A), para el medio de control con agua residual (AR)(B), el Agua Residual más 20 mg de NPs Fe_2O_3 (20 NPs)(C). En las gráficas se pueden observar el área de interés de 1700 cm^{-1} a 1750 cm^{-1}, representando los ésteres (C=O) y los grupos metilo y metileno (CH_2 y CH_3). Arenas reporta que

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

[16], utilizando otro aceite de referencia como el aceite de coco, las bandas correspondientes con grupos de triacilglicéridos (TAGs) que correspondes a los picos de la banda alrededor de 1745 $cm^{-1.}$

Las variaciones en los picos se pueden asociar a que los extractos aún pueden tener restos de biomasa, agua u otras biomoléculas que fueron arrastradas durante la extracción.

El análisis FTIR se aplicó con la biomasa liofilizada antes y después de la extracción vía Soxhelt para tener referencia de la presencia de compuestos como carbohidratos y proteinas. Se analizarón muestras sin nanopartículas, con nanopartículas y después de la extracción de lípidos. Dada la longitud de las bandas del espectro, sólo podemos observar que la medición corresponde a los carbohidratos y a las proteínas. **Figura 8.**

Otros estudios indican que la biomasa obtenida se puede conisiderar para más de un bioenergético, así como el valor económico de productos y coproductos [14].

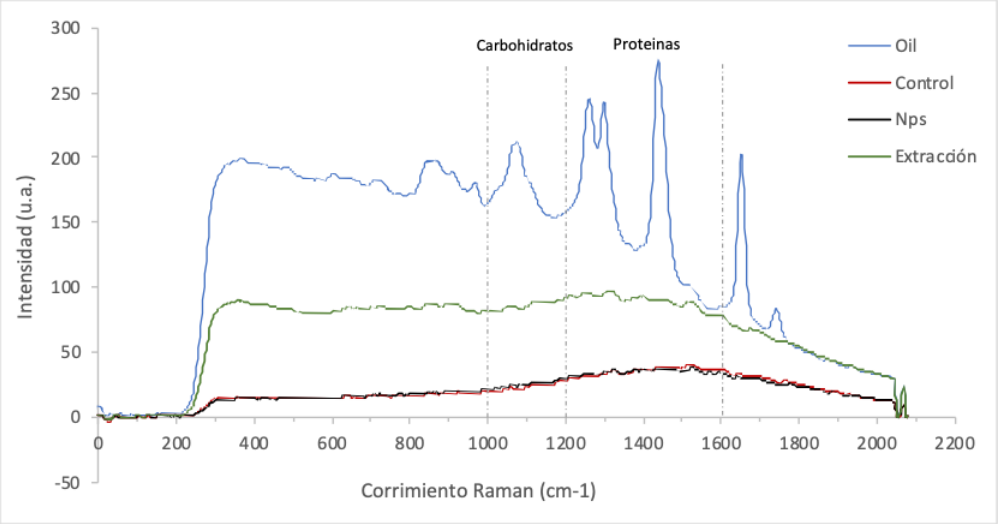


Figura 8. Análisis de espectroscopia Raman de la biomasa seca de Coelastrella sp. antes y después de la extracción de aceite.

CONCLUSIÓN

La microalga *Coelastrella sp*. tienen la capacidad de adherir nanopartículas metálicas, dado que su estructura y la composición química no inhibe su crecimiento.

Las nanopartículas metálicas favorecieron el crecimiento celular y el aumento de carbohidratos en la concentración de biomasa algal.

Se puede destacar que la microalga *Coelastrella sp.* crece satisfactoriamente en medio BG-11 suplementado con 20 mg L-1 de nanopartículas de Fe_2O_3.

Los efectos de la adición de nanopartículas metálicas en el cultivo de la microalga *Coelastrella sp* favorece la concentración de azúcares y proteínas, como lo indicaron la presencia de bandas espectrales en los análisis de FTIR.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

Por el contrario, la presencia de lípidos fueron insipientes. Por otra parte, el cultivo de las microalgas contribuye a la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) al fijar el CO_2 del ambiente, asimismo, en la biorremediación de las aguas residuales.

REFERENCIAS

[1] L. Dogaru, "The main goals of the fourth industrial revolution: Renewable energy perspectives," Procedia Manuf., pp. 397–401, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.03.058.

[2] E. E. S. L. Dias et al., "Global potential assessment of available land for bioenergy projects in 2050 within food security limits," Land Use Policy, vol. 105, Art. no. 105346, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.landusepol.2021.

[3] M. M. S. D. G.-S., J. Á. L.-J., M. A. S. Boutarfa et al., "The Green Microalga Coelastrella thermophila var. globulina (cenedesmaceae, Chlorophyta) Isolated from an Algerian Hot Spring as a Potential Source of Fatty Acids," Life, vol. 12, no. 44,,.560, Apr. 2022, doi: 10.3390/life12040560.

[4] C. O. Onwosi et al., "Applications of nanomaterials in biofuel production," in Nanomaterials for Bioreactors and Bioprocessing Applications. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2023, pp. 83–118, doi: 10.1016/B978-0-323-91782-7.00001-1.

[5] I. A. et al., "Current trends and future prospects of nanotechnology in biofuel production," Catalysts, vol. 11, no. 11, 2021, doi: 10.3390/catal11111308.

[6] L. Vargas-Estrada et al., "Role of nanoparticles on microalgal cultivation: A review," Fuel, vol. 280, Art. no. 118598, Nov. 22020, doi 10.1016/j.fuel.2020.118598.

[7] A. R. E. Sevilla, Cultivo de Chlorella sp. para tratamiento terciario de aguas residuales. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional, 2016.

[8] C. J. Band Schmidt, "Aislamiento, purificación y mantenimiento de cepas de microalgas," en Métodos y Herramientas en la Evaluación de la Biomasa Microalgal, La Paz, B.C.S., México, 2007, p. 97.

[9] C. C. on Algae and Aquatic Technologies, "BG-11 Medium Recipe," Nov. 2022.

[10] Culture Collection of Algae and Protozoa, "Medio BG-11," Oban, Argyll, United Kingdom, Nov. 2019.

[11] R. Chodat, "Matériaux pour l'histoire des algues de la Suisse," Bull. Soc. Bot. Genève, 1922.

[12] E. Kadar et al., "The effect of engineered iron nanoparticles on growth and metabolic status of marine microalgae cultures," Sci. Total Environ., vol. 439, pp. 8–17, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.09.010.

[13] L. G. V. Estrada, "Effect of nanoparticles on microalgae culture and biogas upgrading," tesis de maestría y doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, Morelos, México, 2023.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698

[14] L. Solórzano, “Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method,” Limnol. Oceanogr., vol. 14, pp. 799–801, 1969, doi: 10.4319/lo.1969.14.5.0799.

[15] American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington, DC, USA: APHA, 1998.

[16] E. A. Guerrero, Estudio de la microalga Verrucodesmus verrucosus como fuente potencial para la producción de lípidos con fines bioenergéticos y de bioremediación ambiental. Temixco, Morelos, México: Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, 2020.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6698