

Reutilización de agua residual urbana depurada de una laguna de estabilización con fines de riego

Reusing of Urban Wastewater Treated for Irrigation Purposes of Stabilization Ponds



<https://cu-id.com/2177/v32n4e04>

[✉]Gisel Guerra Hernández^{1*}, [✉]Oscar Brown Manrique¹, [✉]Beatriz Melo Camaraza¹,
[✉]Alexander Hernández Rodríguez¹, [✉]Marcos Edel Martínez Montero¹, [✉]Ernesto Donis Almeida^{II}

¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.

^{II}Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN: El incremento de la competencia por el uso del agua hace que esta sea un recurso cada vez más escaso para el riego agrícola; siendo necesaria la búsqueda de fuentes alternas, como la reutilización de las aguas residuales en la agricultura que representan beneficios para el suelo y los cultivos. La investigación se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del agua residual depurada en lagunas de estabilización del municipio de Morón en la provincia de Ciego de Ávila, Cuba, con fines de riego agrícola a partir del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual. Los principales resultados indican la presencia de una laguna facultativa, eficiencias de remoción de coliformes termotolerantes de 98%, eficiencias de remoción de coliformes totales de 94%, eficiencias de remoción de demanda química de oxígeno de 53%, eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno de 50%, eficiencia total de funcionamiento de la laguna de 74% y oxígeno disuelto de 2 mg·L⁻¹. Estos valores indican que el efluente de la laguna de estabilización puede ser utilizado para la irrigación de cultivos alimenticios cocidos según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud para América Latina y el Caribe.

Palabras clave: Agua residual, coliformes totales, coliformes termotolerantes, eficiencias, reutilización.

ABSTRACT: The increase in competition for the use of water makes it an increasingly scarce resource for agricultural irrigation; it is necessary to search for alternative sources, such as the reuse of wastewater in agriculture that represents benefits for the soil and crops. The research was carried out with the objective of evaluating the quality of treated residual water in stabilization ponds for agricultural irrigation purposes, from the analysis of the physical, chemical and microbiological parameters of residual water. The main results indicate the presence of a facultative lagoon with efficiencies of 50%, 53%, 98% and 94% for the removal of biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, thermotolerant coliforms and total coliforms, respectively. That accounts for 74% of total operation efficiency of the lagoon with 2 mg·L⁻¹ of dissolved oxygen in it. These values indicate that the effluent from the stabilization pond can be used for irrigation of cooked food crops according to the recommendations of the World Health Organization for Latin America and the Caribbean.

Keywords: Alternative Source, Total Coliforms, Thermotolerant Coliforms, Efficiencies, Agriculture.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales han sido utilizadas en la agricultura durante muchos años por el beneficio que representan para el suelo y el cultivo (Pérez-Díaz *et al.*, 2019). En el actual contexto de cambio climático y déficit mundial del agua, su utilización se ha incrementado por los aportes alternativos de agua

que pueden aplicarse en cultivos alimenticios que se consumen crudos y cocidos; industriales y forrajes (Polón-Pérez *et al.*, 2019).

Anualmente se producen 380 000 millones de m³ de aguas residuales en todo el mundo y se espera que este volumen se incremente hasta los 470 000 millones de m³ al final de 2030 y alcance los 574 billones de m³ en el 2050 (Mendoza-Retana *et al.*, 2021).

*Author for correspondence: Gisel Guerra-Hernández, e-mail: gisel@unica.cu

Recibido: 20/04/2023

Aceptado: 01/09/2023

La utilización de efluentes urbanos es una alternativa viable para aumentar la disponibilidad local de recursos hídricos y nutrientes para las plantas; sin embargo, su utilización en la agricultura requiere de medidas para evitar riesgos en la salud humana y el medio ambiente (Sánchez-Gutiérrez y Gómez-Castro, 2021).

Cuba cuenta con una infraestructura de saneamiento compuesta por más de 300 lagunas de estabilización, 5 442 kilómetros de redes de alcantarillado, 163 estaciones de bombeo de residuales y 12 plantas de tratamiento para lograr una adecuada disposición final de los efluentes (Gil, 2016).

La provincia Ciego de Ávila dispone de un sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas integrado por diez lagunas facultativas con eficiencias de remoción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno que oscila entre 35-55%, por lo que ocasionan impactos negativos en fuentes de aguas superficiales

El objetivo del trabajo fue evaluar el funcionamiento de la laguna de estabilización con fines de riego agrícola en el municipio Morón, Cuba mediante la evaluación de los parámetros físico, químico y microbiológico como aspectos esenciales para el incremento de la eficiencia de remoción de la carga orgánica que permita el mejoramiento de la calidad del agua residual.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la laguna de estabilización del municipio de Morón en la provincia de Ciego de Ávila, Cuba; localizada entre las coordenadas planas Cuba Norte X = 744367 m y Y = 257166 m (Figura 1).

Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

El análisis de los parámetros físicas, químicas y microbiológicas del afluente y efluente se realizaron por el personal del laboratorio de la Empresa Nacional

de Servicios Técnicos de la provincia de Ciego de Ávila, donde los indicadores se indican seguidamente:

La temperatura del agua (T) se midió mediante el método de laboratorio con termómetro calibrado para un rango inferior a 50 °C (Luna-Imbacuán *et al.*, 2016). La conductividad eléctrica (CE) se midió a través del método electrométrico para un rango inferior a 4 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Castillo-Sánchez *et al.*, 2020). El oxígeno disuelto (OD) se determinó mediante el método de Winkler para un rango de 2 a 7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Recalde-Mortola y Vielma-Puente, 2022). El potencial de hidrogeno (pH) se determinó mediante el método electrométrico para un rango de 6 a 9 unidades de pH (Pérez-Díaz *et al.*, 2019). Los sólidos sedimentables (SS) se determinaron mediante el Cono Inhoff para un rango inferior a 10 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ (Dunán-Ávila *et al.*, 2020). Los coliformes totales (CT) y termo tolerantes (CTT) se determinaron mediante la técnica de tubos múltiples para un rango inferior a 1 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Baird *et al.*, 2017). El fósforo total (PT) se determinó mediante el método colorimétrico por cloruro estañoso para un rango inferior a 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Perojo-Bellido de Luna *et al.*, 2022). La demanda química de oxígeno (DQO): mediante el método acelerado de digestión en autoclave al dicromato para un rango inferior a 120 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Mayta y Mayta, 2017). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se determinó mediante el método de incubación por 5 días a 20°C y determinación por Winkler para un rango inferior a 60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Limache-Quispe y Tirado-Rebaza, 2022).

La eficiencia de remoción de la carga orgánica se estimó en función de la concentración de entrada de los afluentes y salida de los efluentes para los coliformes totales, coliformes termo tolerante, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno. También se determinó la eficiencia de remoción total según Romero-López y Castillo-Torres (2018) mediante las ecuaciones siguientes:

$$\eta_{rem} = \frac{(C_E - C_S)}{C_E} \cdot 100 \quad (1)$$



FIGURA 1. Mapa satelital de ubicación de la laguna.

$$\eta_{func} = \frac{\Sigma(\eta_{CT} + \eta_{CTT} + \eta_{DQO} + \eta_{DBO_5})}{4} \quad (2)$$

donde η_{rem} es la eficiencia de remoción de la carga orgánica (%), C_E la concentración de los afluentes ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), C_S la concentración de los efluentes ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), η_{func} es la eficiencia de remoción total (%), η_{CT} la eficiencia de coliformes totales (%), η_{CTT} la eficiencia de coliformes termo tolerantes (%), η_{DQO} la eficiencia de demanda química de oxígeno (%) y η_{DBO_5} la eficiencia de demanda bioquímica de oxígeno (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las características físicas

El análisis de las características físicas permitió conocer que la laguna presentó un buen funcionamiento debido a la presencia de algas verdes del género *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Chlamydomonas* que son grandes productoras de oxígeno. La actividad fotosintética de estas algas y la reaireación superficial favorecen la producción del oxígeno necesario para el proceso de depuración (Vanegas-Benavides y Reyes-Rodríguez, 2017). La temperatura mínima media mensual del aire fue de 25,8 °C lo que favoreció el desarrollo de los procesos de degradación (Luna-Imbacuán et al., 2016).

Análisis de las características químicas

El análisis de los parámetros químicos se observa que el potencial de hidrógeno del afluente y el efluente fue de 7,7 y 8,1 unidades respectivamente. Este valor se encuentra dentro del rango permisible según Pérez-Díaz et al. (2019). La combinación del consumo de CO_2 por las algas, hace que en la laguna se incremente el pH el cual puede llegar a valores superiores a 9,0 unidades; sin embargo, valores de pH inferiores a 6,2 unidades afecta la actividad metanígena; por lo que se liberan ácidos orgánicos y otros compuestos con olores desagradables que indican funcionamientos deficientes de la laguna (Guzmán-Pérez et al., 2021).

El valor promedio de la conductividad eléctrica (CE) en los afluentes y efluentes fue de 1058,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y 952,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente. Resultados inferiores a los valores permisibles de descarga de efluentes a cuerpos receptores (< 4 000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) según (Castillo-Sánchez et al., 2020).

Los sólidos sedimentables (SS) fueron prácticamente nulos en la superficie de la laguna y se incrementaron con la profundidad hasta valores promedio de 2 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$; por lo que se cumple con la condición establecida para este parámetro (< 10 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) según Dunán-Ávila et al. (2020).

El aporte de fósforo total en el afluente y el efluente fue de 6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 0,90 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente. Esta disminución estuvo relacionada con la presencia de la

microalga *Chlorella sp.*, la cual reduce la carga de nitrógeno y fósforo (Tafur-Alvarez y Estrada, 2019). Este importante nutriente puede ser incorporado al suelo a través del riego para el desarrollo de cultivos como plátano, boniato, frijoles, maíz y arroz en áreas aledañas a la laguna (Sánchez-Gutiérrez y Gómez-Castro, 2021).

Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron de 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el afluente y efluente respectivamente. El resultado fue inferior en relación con el rango de 2 a 7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ sugerido por Recalde-Mortola y Vielma-Puente (2022). Estos valores son bajos debido a la poca penetración de la luz solar; así como la abundancia y actividad de grupos específicos de microorganismos (Huinil, 2020).

Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno en el afluente y el efluente fueron de 176 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y de 112 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente para una eficiencia de 50%. Comportamiento asociado a la baja disponibilidad de oxígeno disuelto (Mayta y Mayta, 2017; Echeverría et al., 2021).

Los resultados de la demanda química de oxígeno fueron de 60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el afluente y el efluente respectivamente para una eficiencia de 53%. Comportamiento con baja disponibilidad de oxígeno disuelto consumido en la oxidación química de la materia oxidable, sea biodegradable o no (Limache-Quispe y Tirado-Rebaza, 2022).

Análisis de las características microbiológica

Los resultados de los valores de coliformes termotolerantes fueron de 92 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 1 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el afluente y el efluente respectivamente para una eficiencia de 98%. El valor del efluente es inferior al límite estableciendo de 2 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en varios países de América Latina para el riego con aguas residuales (Baird et al., 2017).

Los valores de coliformes totales fueron de 1 60 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 1 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el afluente y el efluente respectivamente para una eficiencia de 93%. El valor del efluente es ligeramente superior a 1 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, valor límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud para riego de cultivos (Baird et al., 2017). De esta manera, el efluente obtenido no es apto para riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos; pero sí para cultivos alimenticios cocidos.

El uso de aguas residuales en la agricultura beneficia a países del tercer mundo al controlar la contaminación y aumentar la producción agrícola ante la falta de recursos hídricos. Sin embargo, la presencia de microorganismos patógenos en estas aguas puede causar enfermedades, por lo que es importante eliminar efectivamente los coliformes en el proceso de tratamiento. El uso responsable es crucial para garantizar la seguridad sanitaria (Cortés-Martínez et al., 2017).

Análisis de la eficiencia de remoción total

Las eficiencias de remoción de los parámetros que intervienen en el funcionamiento de la laguna y de remoción total de la laguna de 73%, inferior al límite mínimo establecidos de 85% para lograr un buen funcionamiento (Vargas et al., 2020). Este valor está asociado fundamentalmente a los valores bajos encontrados en las eficiencias de remoción de DBO₅ y DQO, por lo que se considera que el funcionamiento de la laguna es regular.

Estos valores de eficiencia de la DBO₅ y DQO son bajos debido a la poca penetración de la luz solar; así como la abundancia y actividad de grupos específicos de microorganismos anaerobios por lo que se considera que el funcionamiento de la laguna es regular; no obstante, el agua depurada puede utilizarse para el riego de cultivos alimenticios cocidos (Figura 2).

El resultado de este parámetro sugiere la necesidad de implementar prácticas de reúso de las aguas residuales depuradas en lagunas de estabilización para el riego agrícola, de cultivos que no sean consumidos de forma directa; siendo necesario la aplicación de acciones para evitar daños al suelo, el cultivo y la salud humana.

CONCLUSIONES

- Se obtuvieron eficiencias de 50%, 53%, 98%, 94% para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes termotolerantes y coliformes totales respectivamente. Lo anterior revela una eficiencia de remoción total baja con de 74% (menor a 85%).
- Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron de 0 mg·L⁻¹ y 2 mg·L⁻¹ en el afluente y efluente respectivamente.
- Estos valores son bajos debido a la poca penetración de la luz solar; así como la abundancia y actividad de grupos específicos de microorganismos por lo que se considera que el funcionamiento de la laguna es regular; no obstante, el agua depurada puede utilizarse para el riego de cultivos alimenticios cocidos.

- La laguna de estabilización del municipio de Morón cumple con parámetros como; las concentraciones de oxígeno disuelto con 0 mg·L⁻¹ y 2 mg·L⁻¹ en el afluente y efluente respectivamente, la eficiencia del 50%, 53%, 98%, 94% para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes termotolerantes y coliformes totales respectivamente lo que revela una eficiencia de remoción total baja con de 74% (menor a 85%). Lo anterior demuestra que se considera que el funcionamiento de la laguna es regular; por lo que el agua depurada puede utilizarse para el riego de cultivos alimenticios cocidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIRD, R.; EATON, A.; RICE, E.: *Standard Methods for the examination of Water and Waste Water*, [en línea], Inst. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), Washington, DC, USA, 2017, Disponible en: https://scholar.google.es/scholar?cluster=10785928223407825158&hl=es&as_sdt=2005&scioldt=0,5.
- CASTILLO-SÁNCHEZ, J.G.; BALAREZO-SALTOS, L.D.; VINCES-OBANDO, M.B.; ZAMBRANO-RIZO, H.A.: "Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales", *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 5(1): 23-27, 2020, ISSN: 2588-0721, Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/articloe/view/2499>.
- CORTÉS-MARTÍNEZ, F.; TREVIÑO-CANSINO, A.; ESPINOZA-FRAIRE, A.T.; SÁENZ-LÓPEZ, A.; ALCORTA-GARCÍA, M.A.; GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L.; MARTÍNEZ-ROJAS, R.; CRUZ-ACOSTA, F.: "Optimización en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales integrado por tres lagunas de estabilización", *Tecnología y ciencias del agua*, 8(4): 139-155, 2017, ISSN: 2007-2422, Publisher: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-09>.

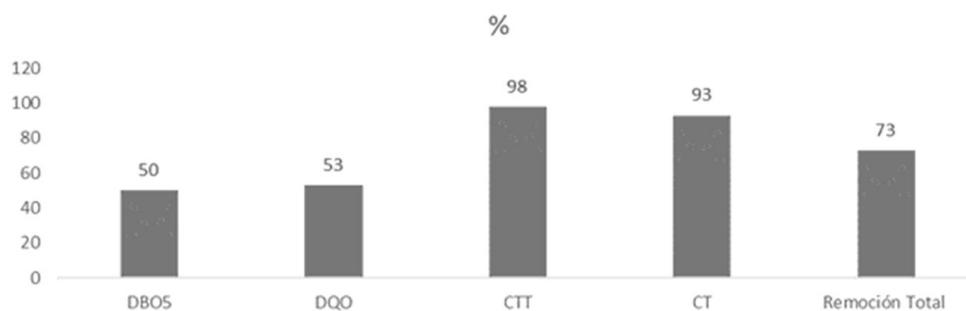


FIGURA 2. Representación de las eficiencias de depuración y funcionamiento de la laguna.

- DUNÁN-ÁVILA, P.L.; RIVERÓN-ZALDÍVAR, A.B.; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M.; FUENTES-LONDRES, Y.; MARRERO-DOIMEADIOS, L.: “Evaluación de los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Yamanigüey”, *Ciencia & Futuro*, 10(2): 19-37, 2020, ISSN: 2306-823X, Disponible en: https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/1923.
- ECHEVERRÍA, I.; ESCALANTE, C.; SAAVEDRA, O.; ESCALERA, R.; HEREDIA, G.; MONTOYA, R.: “Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado”, *Investigación & Desarrollo*, 21(1): 37-45, 2021, ISSN: 2518-4431, Publisher: Universidad Privada Boliviana, DOI: <https://doi.org/10.23881/idupbo.021.1-3i>.
- GIL, Y.: *Principales indicadores y datos de infraestructura hidráulica, [en línea]*, Inst. Instituto de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba, 2016, Disponible en: <https://www.hidro.gob.cu/sites/default/files/INRH/Publicaciones/Principales%20indicadores.pdf>.
- GUZMÁN-PÉREZ, J.; CRUZ-HERNÁNDEZ, C.V.; TORRES-CASTRO, P.; DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, V.; ADAMS-SCHROEDER, R.H.; BALTIERRA-TREJO, E.; GÓMEZ-CRUZ, R.: “Efecto del ph y temperatura en lagunas de estabilización de un campus universitario”, *Kuxulkab*, 27(59): 19-29, 2021, ISSN: 2448-508X, DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4038>.
- HUINIL, R.: “Dinámica del oxígeno disuelto en una laguna facultativa”, *Revista Agua, Saneamiento & Ambiente*, 15(1): 81-88, 2020, Disponible en: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/download/1136/774/4534>.
- LIMACHE-QUISPE, F.; TIRADO-REBAZA, L.U.: “Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna-Perú”, *Ciencia & Desarrollo*, 21(1): 29-39, 2022, ISSN: 2617-6033, DOI: <https://doi.org/10.33326/26176033.2022.1.1239>.
- LUNA-IMBACUÁN, M.A.; CAMPOS-BERMÚDEZ, F.; MEDINA-GUTIÉRREZ, O.: “Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)”, *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2): 191-202, 2016, ISSN: 0122-8706, Publisher: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, Disponible en: https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062016000200004.
- MAYTA, R.; MAYTA, J.: “Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación”, *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3): 331-340, 2017, ISSN: 1810-634X, Publisher: Sociedad Química del Perú, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371953709008>.
- MENDOZA-RETANA, S.S.; CERVANTES-VÁZQUEZ, M.G.; VALENZUELA-GARCIA, A.A.; GUZMÁN-SILOS, T.L.; ORONA-CASTILLO, I.; CERVANTES-VÁZQUEZ, T.J.: “Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1): 115-126, 2021, ISSN: 2007-0934, Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342021000100115&script=sci_abstract.
- PÉREZ-DÍAZ, J.P.; ORTEGA-ESCOBAR, H.M.; RAMÍREZ-AYALA, C.; FLORES-MAGDALENO, H.; SÁNCHEZ-BERNAL, E.I.; CAN-CHULIM, A.; MANCILLA-VILLA, O.R.: “Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo”, *Acta universitaria*, 29: 1-21, 2019, ISSN: 0188-6266, Publisher: Universidad de Guanajuato, Dirección de Investigación y Posgrado, DOI: <http://doi.org/10.15174.au.2019.2117>.
- PEROJO-BELLIDO DE LUNA, A.M.; AGUILERA-CORRALES, Y.; VILLAR-ANEIROS, A.; AVILÉS-AGUILERA, Y.: “Caracterización de las aguas residuales generadas en la producción de conjugados monovalentes en el Instituto Finlay de Vacunas”, *Vaccimonitor*, 31(2): 60-67, 2022, ISSN: 1025-028X, Publisher: Instituto Finlay de Vacunas, Disponible en: <http://www.vaccimonitor.finlay.edu.cu>.
- POLÓN-PÉREZ, R.; MIRANDA, A.; DÍAZ, R.; RUÍZ, M.; GUERRA, G.; VELÁZQUEZ, F.: “Effect of Water Stress on Rice Regrowth Crop. Second Part”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(3): 1-6, 2019, ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana, Cuba, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93260040003>.
- RECALDE-MORTOLA, L.S.; VIELMA-PUENTE, J.E.: *Análisis comparativo de sensor óptico de oxígeno disuelto respecto al método de winkler para establecer la confiabilidad del instrumento, [en línea]*, Inst. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, Publisher: ESPOL. FCNM p., publisher: ESPOL. FCNM, 2022, Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56508>.
- ROMERO-LÓPEZ, T. de J.; CASTILLO-TORRES, Y.: “Actualización del estado de las lagunas de

- estabilización de la provincia Mayabeque”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(2): 72-85, 2018, ISSN: 1680-0338, Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000200006.
- SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ, R.; GÓMEZ-CASTRO, C.: “Acercamiento a los procesos de modelación de la calidad del agua en una subcuenca. Caso del río Virilla, Costa Rica”, *Uniciencia*, 35(1): 71-89, 2021, ISSN: 2215-3470, Publisher: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es>, DOI: <https://dx.doi.org/10.15359/ru.35-1.5>.
- TAFUR-ALVAREZ, J.E.; ESTRADA, L.: “Tratamiento de aguas residuales in vitro por medio de la microalga *Chlorella* sp. en el municipio de Barrancabermeja, Colombia”, *Revista Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente (CITECSA)*, 11(18): 5-20, 2019, ISSN: 2027-6745, Disponible en: <https://www.unipaz.edu.co/ojs/index.php/revcitecsa/index>.
- VANEGAS-BENAVIDES, C.M.; REYES-RODRÍGUEZ, R.V.: “Carga superficial máxima en lagunas de estabilización facultativas de Nicaragua”, *Nexo Revista Científica*, 30(01): 01-18, 2017, ISSN: 1995-9516, DOI: <https://dx.doi.org/10.5377/nexo.v30i01.5169>.
- VARGAS, A.K.N.; CALDERÓN, J.; VELÁSQUEZ, D.; CASTRO, M.; NÚÑEZ, D.A.: “Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia”, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2): 315-322, 2020, ISSN: 0718-3305, Publisher: SciELO Chile, Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052020000200315&script=sci_arttext.

Gisel Guerra-Hernández. MSc., Prof. Auxiliar, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: gisel@unica.cu.

Oscar Brown-Manrique. Dr.C., Prof. Titular, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: obrown@unica.cu.

Beatriz Melo-Camaraza. Ing. Hidráulica, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Departamento de Ingeniería Hidráulica, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: beatrizmc@unica.cu.

Alexander Hernández-Rodríguez. Ing. Hidráulico, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: alexanderh@unica.cu.

Marcos Edel Martínez-Montero. Dr.C., Prof. Titular, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Facultad de Ciencias Agropecuaria, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: cubaplantas@gmail.com.

Ernesto Donis-Almeida. Ing. Hidráulico, Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: donisalmeida18@gmail.com.

Los autores de este trabajo declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** G. Guerra. **Curación de datos:** G. Guerra, O. Brown, E. Donis. **Análisis formal:** G. Guerra, B. Melo, O. Brown. **Investigación:** G. Guerra, O. Brown, B. Melo, A. Hernández. **Metodología:** G. Guerra, B. Melo, A. Hernández, O. Brown. **Supervisión:** G. Guerra, O. Brown. **Validación:** G. Guerra, O. Brown, M. E. Martínez. **Papeles/Redacción, proyecto original:** G. Guerra, O. Brown. **Redacción, revisión y edición:** G. Guerra, O. Brown, M. E. Martínez, A. Hernández.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.