

DIAGNÓSTICO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN EL RIEGO

DIAGNOSIS OF THE STABILIZATION POND AND USE OF WASTEWATER FOR IRRIGATION

Autores: Gisel Guerra Hernández¹

<https://orcid.org/0000-0003-2788-4574>

Beatriz Melo Camaraza¹

<https://orcid.org/0009-0004-5906-9659>

Ernesto Donis Almeida²

<https://orcid.org/0009-0006-5214-5502>

Deynis González García²

<https://orcid.org/0009-0005-1008-1785>

Maiquel López Silva³

<https://orcid.org/0000-0002-0946-6160>

Institución: ¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

²Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Ciego de Ávila, Cuba

³Universidad Ricardo Palma, Perú

Correo electrónico: gisel@unica.cu

beatriz@unica.cu

donisalmeida18@gmail.com

deynis.gonzalez@hidro.gob.cu

maiquel.lopez@urp.edu.pe

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en una laguna de estabilización facultativa con el objetivo de desarrollar un diagnóstico preliminar del funcionamiento para el aprovechamiento del agua residual en riego agrícola. Se encontró que la laguna opera con una eficiencia del 39 %, con zonas muertas en la entrada y una distribución incorrecta del influente. Además, el mantenimiento de la laguna es deficiente, aunque se observó que estaba libre de vegetación y maleza. Los análisis físicos, químico y biológico del agua tratada mostraron que la penetración de la luz fue de 0,20 m, y los valores de coliformes fecales en el influente y el efluente superaron los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud para el riego de cultivos alimentarios crudos. Sin embargo, se determinó que el efluente puede utilizarse para el riego de cultivos

224

alimentarios cocidos, basándose en las directrices utilizadas en algunos países como Chile, Perú y Bolivia. Esto indica un potencial para la reutilización de aguas residuales en la agricultura. En conclusión, se necesita mejorar el rendimiento de la laguna y establecer planes para el mantenimiento y la extracción de lodo. Además, se necesita más información sobre la calidad del agua residual tratada para su reutilización en la agricultura, así como información técnica sobre la reutilización de aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales, Eficiencia, Lagunas de estabilización, Reutilización.

ABSTRACT

The present work was carried out in a facultative stabilization pond with the objective of developing a preliminary diagnosis of the operation for the use of residual water in agricultural irrigation. It was found that the lagoon operates with an efficiency of 45 %, with dead zones at the entrance and an incorrect distribution of the influent. In addition, the maintenance of the lagoon is deficient, although it was observed that it was free of vegetation and weeds. The physical, chemical and biological analysis of the treated water showed that the light penetration was 0.20 m, and the values of fecal coliforms in the influent and effluent exceeded the limits recommended by the World Health Organization for irrigation. of raw food crops. However, it was determined that the effluent can be used for irrigation of cooked food crops, based on the guidelines used in some countries such as Chile, Peru and Bolivia. This indicates a potential for the reuse of wastewater in agriculture. In conclusion, it is necessary to improve the performance of the lagoon and establish plans for maintenance and sludge removal. In addition, more information is needed on the quality of wastewater treated for reuse in agriculture, as well as technical information on wastewater reuse.

Keywords: Efficiency, Reuse, Stabilization ponds, Wastewater.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso limitado y esencial para la salud humana y el equilibrio medioambiental cuyo uso es cada vez más intenso, llevando a situaciones de estrés hídrico e incluso de escasez, cada vez más frecuentes, en todos los continentes del planeta (Salas *et al.*, 2020; Ghernaout, 2017; Molinos *et al.*, 2016).

Se estima que el 70 % de la superficie del planeta está cubierta por agua: el 97 % es agua salada, el 3 %, dulce y de este último 3 % en el mundo tan solo el 1 % está

disponible para el consumo humano y de los ecosistemas (Zambrano *et al.*, 2022; González, 2018).

En América Latina el 70 % de las aguas residuales no reciben tratamiento alguno dificultando el ciclo del agua (Larios *et al.*, 2015) por otra parte en el Ecuador, la producción de aguas residuales es considerada una problemática a la que se ha intervenido de forma poco eficaz debido a que existe ausencia de infraestructuras físicas suficientes para tratarlas, por esto se considera que el 90 % de estas aguas se descargan en fuentes de agua dulce sin recibir tratamiento (Montero *et al.*, 2020).

El riego con aguas residuales domésticas no tratadas representa un serio riesgo, pues constituyen una importante fuente de agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos (lombrices) que causan infecciones gastrointestinales en los seres humanos. También contienen toxinas químicas muy peligrosas que provienen de fuentes industriales. (Sánchez *et al.*, 2021; Veliz *et al.*, 2009).

Las potencialidades de la reutilización del agua residual depurada se basan, esencialmente, en aprovecharla como agua de riego agrícola y de recarga para incrementar los recursos hídricos de un sistema acuífero. Esta reutilización puede evitar muchos de los problemas que ocasiona el vertido de estas aguas en cauces superficiales o en el mar: riesgos sanitarios, cambios en las características organolépticas, eutrofización, entre otros. El interés por esta reutilización se centra en las ventajas que representa, las cuales se pueden resumir a continuación según (Sánchez, 2017).

1. El agua tratada representa una fuente constante y segura de agua.
2. Es un aporte continuo de nutrientes para las plantas.
3. El contenido residual de nutrientes del agua residual representa un ahorro en gastos de fertilización.
4. Se contribuye a la conservación de los recursos hídricos.
5. Representa una posible reducción del costo económico del agua destinada a riego, ya que las aguas procedentes de otras fuentes pueden resultar más costosas.

No obstante, hay que tener en cuenta las desventajas, que se centran principalmente en dos apartados: los riesgos sanitarios derivados del uso de aguas residuales y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, así como de suelos y cultivos (Pulido, 2017).

En Cuba como en la mayoría de los países en vías de desarrollo las lagunas de estabilización es el sistema de tratamiento de las aguas residuales más utilizado, es un tipo de planta para tratar aguas residuales por medio biológico, pero donde realmente se presentan fenómenos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos.

En la provincia Ciego de Ávila se desarrollan programas dirigidos a solucionar, de forma paulatina, problemas medioambientales y comunitarios que posibilitaron que la carga contaminante disminuyera en un 1,3 por ciento. Este resultado obedece a la realización de acciones de mantenimiento en los sistemas de tratamiento de los residuales líquidos en entidades y en lagunas de estabilización de varios asentamientos poblacionales. El objetivo general es desarrollar el diagnóstico de la laguna de estabilización Primero de Enero que contribuya a la reutilización del agua depurada en el riego de cultivos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la laguna de estabilización Primero de Enero, la cual se encuentra situada al noreste de la provincia de Ciego de Ávila, colindando al Este con la provincia de Camagüey, con el municipio Ciro Redondo por el Oeste y con el municipio de Bolivia al Norte.

Como se muestra en la Figura 1, esta laguna es una obra hidráulica de gran importancia para el municipio, ya que permite recoger los residuales líquidos que se originan en esa localidad formando un área inundada debido a la acumulación de los afluentes. En este volumen de agua se produzcan los procesos biológicos con el propósito de reducir la carga orgánica y producir un efluente que no provoque impactos negativos en el ambiente. Está compuesta por tres partes fundamentales: sistema de rebombeo, obra de descarga y obra de salida las cuales se describen a continuación:



Figura 1. Vista del área inundada de la laguna.

El sistema de bombeo es la primera parte que conforma este sistema de tratamiento, el mismo está compuesto por una bomba de 20 l/s, con una potencia de 15 kW y la misma es trifásica. También cuenta con un foso y un tanque sedimentador.

La obra de descarga está integrada por una tubería de un diámetro de 160 mm, anclada cada 4 metros dentro de la laguna y esta tubería es de asbesto cemento; mientras que la obra de salida consta con una tubería que tiene un diámetro de 160 mm y un registro, permitiendo el traslado del agua residual tratada hasta un canal receptor de vertimiento.

Desarrollo del diagnóstico en la laguna de estabilización

El diagnóstico desarrollado en la laguna de estabilización Primero de Enero consistió en la aplicación de las siguientes herramientas o procedimientos: observación directa, análisis documental, determinación de las características geométricas e hidráulicas de la laguna y análisis de las características físicas, químicas y biológicas del agua tratada. Los indicadores fundamentales evaluados fueron: funcionamiento de la laguna, parámetros de operación y mantenimiento; así como reutilización de los efluentes.

Determinación de las características geométricas de la laguna

- Área superficial: se determinó con un GPS de la marca (GARMIN), con una precisión de menos de 10 metros.
- Longitud de la laguna: se determinó mediante el mismo GPS.

- Profundidad promedio: se determinó mediante una regla limnimétrica graduada con una precisión hasta los centímetros. Estas mediciones se realizaron en varios puntos dentro de la laguna.
- Espesor del lodo: se determinó mediante una regla limnimétrica graduada con una precisión hasta los centímetros. Estas mediciones se realizaron en varios puntos dentro de la laguna.
- Mapas de isolíneas de profundidad total, profundidad de lodo y penetración de luz: se construyeron los mapas con los softwares AUTOCAD y SURFER.
- Velocidad del agua: se determinó mediante el método de los flotadores. Se empleó la siguiente ecuación:

$$v = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Dónde V Velocidad del flujo de agua (m/s), L Longitud de la laguna (m) y t Tiempo que empleó el flotador en recorrer la longitud especificada (s).

Características físicas, químicas y biológicas del agua tratada

- Para la medición de la penetración de la luz se utilizó un Disco de Secchi.
- El coeficiente de reoxigenación (K1) se determinó mediante la ecuación siguiente:

$$K1 = \frac{y}{L_0} \quad (2)$$

Donde L_0 DBO útil o final, y = DBO Removida, $y = DBO_{inicial} - DBO_{final}$

- El coeficiente de desoxigenación (K2) se determinó como:

$$K2 = 6.5 * V * H^{-2} \quad (3)$$

$$K2 = 5.026 * V^{0.969} * H^{-1.673} \quad (4)$$

Donde V Velocidad (m/s) y H Profundidad (m)

- La eficiencia de remoción se estimó a través de la ecuación siguiente:

$$\eta_{rem} = \frac{(C_E - C_S)}{C_E} * 100 \quad (5)$$

Donde C_E efluente y C_S afluente de (DQO, DBO, CT y CF).

- Para el cálculo del tiempo de retención hidráulico se tuvo que calcular primeramente el volumen de la laguna, que dentro de la fórmula de este volumen se encuentra el parámetro DBO que se tuvo que calcular y con el dato que obtuvimos del Q en la visita a la laguna se determinó el tiempo de retención.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

Donde TRH tiempo de retención, Q Caudal ($m^3/día$) y V Volumen (m^3)

- El volumen de la laguna se estimó con la ecuación que se muestra a continuación:

$$V = (3.5 * 10^{-5})NqLu * 1.085^{(35-T)} \quad (7)$$

Donde V volumen de la laguna, N números de habitantes que aportan residuales a la laguna (ha). Nq producción de residual (l/ha/día). T temperatura media en el mes más frío del año (grado). Lu DBO inicial.

- La DBO, se determinó mediante una relación de la DBO con la DQO, ya que en nuestra provincia no se hace análisis de ese tipo. La relación se expresa a continuación.

$$DBO_5 = 0,40.DQO \quad (8)$$

Estas características se obtuvieron mediante el laboratorio de calidad del agua el cual se encuentra situado en la provincia de Ciego de Ávila.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la observación directa

La visita a la laguna de estabilización Primero de Enero, mostró la presencia de poca vegetación no adecuada en los taludes de la laguna, debido al buen trabajo de mantenimiento y a la capacitación del personal que opera las mismas. Se percibió que el olor era casi nulo y el color se tornaba un poco verdoso. Esta laguna tiene 22 años de explotación, ya que se comenzó a construir en 1981 y se culminó en 1982, encontrándose aún su explotación en buen estado.

Análisis de la entrevista realizada a los especialistas y los operadores

Según la entrevista realizada a los especialistas y los operadores el funcionamiento de la laguna es regular, comportándose con una eficiencia de 39 %. La misma presenta zonas muertas a la entrada e incorrecta distribución de afluente. Se comprobó que, en el libro de registro diario de la laguna el operador registra las operaciones siguientes:

- Bombeo de residual mediante dos bombas LOGUARA de caudal de 70 L/s.
- Color (verde).
- Temperatura (20-25°C).
- Espuma (ausente).
- Vegetación (ausente).
- Material flotante (ausente).
- Olor (normal).

El mantenimiento de la laguna es pobre y no cuentan con un plan en la misma para la extracción del lodo, aunque se visualizó que la laguna está limpia de vegetación y de maleza en el talud. No se conoce la calidad del agua residual para el reúso en la agricultura y falta de información técnica sobre el reúso con aguas residuales.

Análisis de las características geométricas de la laguna

Está es una laguna facultativa que tiene un área de 1.173 ha, una profundidad de 1.50 m y una longitud de 179 m, el gasto de agua residual que llega al sistema es equivalente a 252 m³/d para un tiempo de retención de 18 días.

Análisis físicos, químicos y biológicos del agua tratada

La medición de la penetración de la luz dio un valor de 0.20 m. Los valores de la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coeficiente de desoxigenación (K₁) se muestran en la tabla 1; mientras que el coeficiente de reoxigenación (K₂) de exponer en la tabla 2 en función de la velocidad (v) y la profundidad de la laguna (H) se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 1. Valores del coeficiente de desoxigenación (K₁) y DBO removida

Año	DQO entrada	DQO salida	DBO entrada	DBO salida	DBO Rem (y)	K ₁
2023 (PH)	62	46	24,8	18,4		
2023 (P)	62	46	24,8	18,4	6,4	0,35

(P): Promedio anual; (PH): Período húmedo.

Tabla 2. Valor de del coeficiente de Reoxigenación (K₂)

K ₂ para la ecuación (3)	Velocidad (m/s)	H ²
0,74	0,15	0,76
K ₂ para la ecuación (4)	v ^{0,969}	H ^{-1,673}
0,63	0,16	0,79

En esta laguna se encontró que el tiempo de retención hidráulico (TRH) es de 18 días, el volumen de la laguna (V) de 4441.49 m³.

En la tabla 3 se expone la eficiencia de remoción de los coliformes fecales y totales. Los valores de coliformes fecales fueron de 1,7E+04 mg L⁻¹ y 8,0E+03 mg L⁻¹ en el afluente y el efluente respectivamente. El valor del efluente es superior al límite estableciendo de 2,0E+03 mg L⁻¹ en varios países de América Latina para el riego con aguas residuales (Baird *et al.*, 2017; Gamboa *et al.*, 2016; Salas *et al.*, 2014).

Tabla 3. Eficiencia de remoción de los coliformes fecales y totales.

Año	CF entrada	CF salida	%remoción
-----	------------	-----------	-----------

2023	1.7E+04	8.0E+03	52,94
	CT entrada	CT salida	%remoción
	2,8E + 04	1,4E + 04	50,00

Los valores de coliformes totales fueron de $2,8E+04$ mg L⁻¹ y $1,4E+04$ mg L⁻¹ en el afluente y el efluente respectivamente. El valor del efluente es superior a $1,0E+03$ mg L⁻¹, que es el valor límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud para riego de cultivos (Baird *et al.*, 2017; Gamboa *et al.*, 2016; Salas *et al.*, 2014). De esta manera, el efluente obtenido no es apto para riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos; pero sí para cultivos alimenticios cocidos.

Con el valor de Coliformes Fecales (CF), el agua de la laguna se puede utilizar para el riego de cultivos alimenticios cocidos. Esto se determinó basándose en directrices que son utilizadas en algunos países, tomando como ejemplo a Chile, Perú y Bolivia, donde estos países tratan sus aguas mediante lagunas facultativas.

CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado a las lagunas de estabilización permitió caracterizar las mismas.
- Los parámetros de operación fueron determinados teniendo en cuenta la experiencia de operadores, especialistas y técnicos.
- Los valores de coliformes fecales fueron de $1,7E+04$ mg L⁻¹ y $8,0E+03$ mg L⁻¹ en el afluente y el efluente respectivamente. El valor del efluente es superior al límite estableciendo de $2,0E+03$ mg L⁻¹ en varios países de América Latina para el riego con aguas residuales.
- Los valores de coliformes totales fueron de $2,8E+04$ mg L⁻¹ y $1,4E+04$ mg L⁻¹ en el afluente y el efluente respectivamente. El valor del efluente es superior a $1,0E+03$ mg L⁻¹, que es el valor límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud para riego de cultivos. De esta manera, el efluente obtenido no es apto para riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos; pero sí para cultivos alimenticios cocidos.
- La remoción de Coliformes Fecales del agua residual de la laguna puede ser utilizada para el riego de cultivos alimenticios cocidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, R., EATON, A. y RICE, E. (2017). Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. American Public Health Association (APHA), American

Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

Disponible:

https://scholar.google.es/scholar?cluster=10785928223407825158&hl=es&as_sdt=2005&scioldt=0,5. Visitado: 15 de junio de 2023.

- GAMBOA, R., CIFUENTES, G. y ROCHA, Z. (2016). Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el agua del embalse La Copa, municipio de Toca, Boyacá/Colombia. *Revista I+3 Investigación Innovación Ingeniería*, Vol. 3, No.1, p. 10-23.
- GHERNAOUT, D. (2017). Water Reuse (WR): The Ultimate and Vital solution for Water Supply Issues. *International Journal of Sustainable Development Research*, Vol. 3, No.4, p. 36-46.
- GONZÁLEZ, B. G. (2018). Agua y ciudad: análisis y perspectivas del consumo de agua en el municipio de Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, Vol. 3, No.24, pp. 179-199.
- HUMANANTE, J. J. ...[et al.] (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, Vol. 19, No. 2, pp. 177-187.
- LARIOS, F., GONZALEZ, C. y MORALES, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, Vol. 2, No. 2, pp. 9-25.
- MOLINOS, M. ...[et al.] (2016). Ecoefficiency assessment of wastewater treatment plants using a weighted Russell directional distance model. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137, pp. 1066-1075.
- MONTERO, F.S. ... [et al.] (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río PindChico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, Vol. 3, No.1, pp. 23-39.
- PULIDO, M. (2017). Riego con aguas residuales para depuración de contaminantes. *H₂O Gestión del agua*, Vol. 14, pp. 12-17.
- SALAS, R. ... [et al.] (2020). Reutilización de agua: estado actual y perspectivas. *Presupuesto y Gasto Público*, Vol. 101, No.4, pp. 187-204.
- SÁNCHEZ, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, Vol. 5, No.14, pp. 119-143.

SÁNCHEZ, R. y GÓMEZ, C. (2021). Acercamiento a los procesos de modelación de la calidad del agua en una subcuenca. Caso del río Virilla, Costa Rica. *Revista Uniciencia*, Vol. 35, No.1, pp. 71-89.

VELIZ, E. ... [et al.] (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, Vol. 40, No.1, p. 35-44.

ZAMBRANO, J. D. ... [et al.] (2022). Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *SIEMBRA*, Vol. 9, No.2, p.1-15.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.