

Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de aguas residuales La Cuba

Rosa Elvira Isaac-Zaldivar¹, Katia Almarales-de la Torre², José Fernando Álvarez-Vega³

1. Centro Universitario Municipal de Palma Soriano, Universidad de Oriente
Calle Martí, esquina Céspedes, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba
rosaelvira@uo.edu.cu
2. Empresa Provincial de Acueducto y Alcantarillado, Aguas Turquino
José A. Saco final, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba
katia.almarales@eaaat.ays.cu
3. Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente
Avenida Las Américas. Santiago de Cuba, Cuba
alvarez@uo.edu.cu

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el municipio de Palma Soriano, provincia de Santiago de Cuba, en el periodo comprendido entre diciembre de 2021 y julio de 2022, el objetivo fue conocer si la planta de tratamiento de aguas residuales La Cuba realizaba una eficiente remoción de la carga contaminante. Teniendo en cuenta que el cuerpo receptor de los vertimientos de estos residuales es el río Cauto se realizó una propuesta de optimización para disminuir su contaminación y contribuir a la protección de los ecosistemas y de los asentamientos poblacionales que se sirven de sus aguas. Se caracterizaron los principales parámetros físicos y químicos de las aguas residuales tratadas en la planta, se evaluó la idoneidad de su diseño, la eficiencia de la remoción de los contaminantes y su biodegradabilidad. Las determinaciones químicas fueron realizadas en los laboratorios de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, de Santiago de Cuba. Los resultados mostraron ineficiencias en los órganos de tratamiento, los residuales no cumplen con las especificaciones de la norma de vertimiento vigente, en lo referido a conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO) y que la biodegradabilidad de los contaminantes se encuentra en los límites permisibles.

Palabras clave: agua residual, optimización, planta de tratamiento de aguas residuales.

ABSTRACT

Here results of a research work is shown carried out in Palma Soriano municipality, Santiago de Cuba province in between December 2021 and July 2022 to find out if "La Cuba" wastewater treatment plant carried out an efficient removal of the contaminant load. Knowing receiving body of discharges of these residuals is the Cauto River, an optimization proposal was designed to reduce its polluting potential and contribute to ecosystem protection and as a consequent of population settlements using its waters. Main physical and chemical parameters of treated wastewater from plant were characterized. Suitability of its design, pollutants removal efficiency and their biodegradability were evaluated. Chemical determinations were done in laboratory of The National Enterprise of Analisis and Technical Services, in Santiago de Cuba. Results showed inefficiencies in treatment organs, residuals do not meet specifications of the current Cuban dumping standard in terms of electrical conductivity, biochemical oxygen demand (BOD_5) but chemical oxygen demand (COD) and biodegradability of contaminants were within permissible limits.

Keywords: wastewater, optimization, wastewater treatment plant.

INTRODUCCIÓN

Siempre que las aguas residuales van a ser vertidas en ríos, mares y lagos debe garantizarse antes su tratamiento, fundamentalmente cuando las aguas de los cuerpos receptores son utilizadas por la población (1). La depuración de estas aguas puede llevarse a cabo mediante la aplicación de procesos físicos, químicos, biológicos o la combinación de algunos de ellos, en función de sus características, su carga orgánica o la presencia de compuestos químicos inorgánicos (2).

Algunos autores como Beltrandes (3), Cedrón (4), Diaz *et al.* (5) y otros (6-10) han desarrollado soluciones para la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, a partir de sistemas basados en tanques sépticos o lagunas de estabilización.

Otros autores como Despaigne (11), Rodríguez (12) y Méndez (13), consideran las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) una alternativa atractiva, sobre todo para países como Cuba, porque ofrecen la oportunidad de tratar las aguas residuales domésticas en zonas rurales y zonas periurbanas con bajos costos de inversión, operación, mantenimiento y consumo de energía.

La creación de una PTAR se presenta como una respuesta a la grave contaminación que sufren los cuerpos de agua subterráneos y superficiales y a la necesidad de optimizar este recurso hídrico en actividades que demandan un mayor uso de agua dulce, como es el caso de la agricultura (13).

En Europa la tendencia es a reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales *in situ* (10).

Las naciones en vías de desarrollo se encuentran bajo constante presión, de un lado intentan seguir las tendencias internacionales para disminuir las concentraciones límites de las normas y, del otro lado, tratan de revertir la continua degradación medioambiental (6). En general, en estos países es muy poco el caudal que se trata antes de regresarlo a los ríos y, mucho menor, el que recibe tratamiento adecuado para su reuso en la industria y algunos servicios (7).

Entre los países latinoamericanos que tratan más de la mitad de sus aguas residuales destacan Chile, Brasil, México y Uruguay. Debido a las fuertes inversiones que demanda, la mayoría no puede hacerle frente a este desafío. América Latina y el Caribe tendrían que gastar más de 33 000 millones de dólares para tratar el 64 % de este recurso en el año 2030 (8).

En Cuba solo se trata un 26 % del agua que se recolecta. Existen 24 plantas de tratamiento en zonas periurbanas que constituyen una alternativa sostenible de saneamiento, aunque la mayoría funcionan ineficientemente debido a problemas de diseño y operación (11).

En el reparto La Cuba, de la ciudad de Palma Soriano, existe una PTAR, única de su tipo en la zona oriental del país, con tecnología sobre la base de tanques Imhoff y filtros percoladores y dos módulos diseñados para tratar un caudal de 10L/s. Las aguas que depura son vertidas al río Cauto, pero no se conoce si sus órganos de tratamiento realizan una eficiente remoción de la carga contaminante. Por este motivo se plantea como problema de la investigación: ¿Cumple la planta de tratamiento las exigencias de vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres?

La importancia de esta investigación radica en la caracterización cuantitativa de la carga contaminante procedente del poblado La Cuba, que recibe el río Cauto aguas abajo del punto de vertimiento y conocer en qué medida afecta a los asentamientos poblacionales y ecosistemas que se sirven de sus aguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos empleados para fundamentar la investigación son:

Del nivel empírico

1. Observación: para valorar el funcionamiento de la PTAR.

- Revisión de documentos: para conocer las normas vigentes sobre tratamiento de aguas residuales, la toma de muestras y sobre el funcionamiento de la planta.

Del nivel teórico

- Inducción-deducción: para revelar, a partir de las observaciones, lo particular de cada una de ellas y las regularidades del proceso de tratamiento.
- Análisis y síntesis: para valorar los contenidos de las bibliografías consultadas y extraer los fundamentales referentes teóricos sobre el tema en estudio.

Métodos estadístico-matemáticos

Análisis porcentual: para calcular la eficiencia de la planta.

Evaluación de la PTAR

Se realizó una valoración de la PTAR para conocer el estado actual de sus órganos de tratamiento y si estos cumplen las normas de funcionamiento establecidas. Estos se representan en la figura 1.

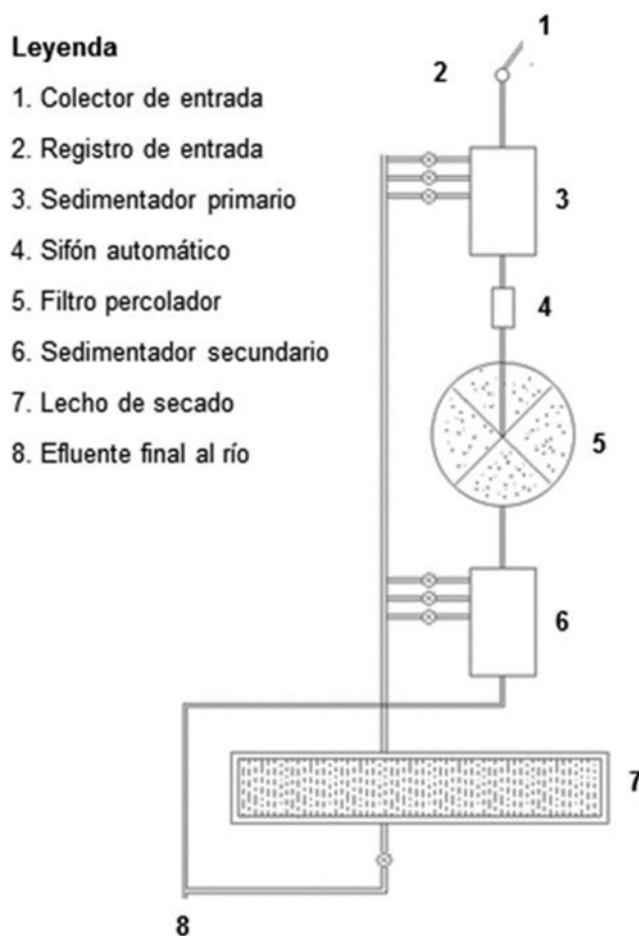


Figura 1. Órganos de tratamiento de la PTAR La Cuba.

Caracterización de las aguas residuales tratadas

Se tomaron muestras en el vertedor triangular de la entrada y de la salida de la planta para determinar conductividad eléctrica (CE), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos sedimentables (S. sed.) en los laboratorios de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST), en Santiago de Cuba.

Para la evaluación de los resultados obtenidos, se utilizó la tabla: Límites Máximos Permisibles Promedios (LMPP) para las descargas de aguas residuales, según la clasificación del cuerpo receptor (Ríos y Embalses Clase A), que aparece en la NC 27:2012 (14).

Eficiencia de la remoción

La eficiencia (E) de la planta fue calculada por la fórmula:

$$E = \frac{S_0 - S_e}{S_0} * 100 \%$$

Siendo:

So: Parámetro a la entrada

Se: Parámetro a la salida

Evaluación de la biodegradabilidad

La biodegradabilidad del agua residual se calculó por la relación DBO₅/DQO para comprobar la efectividad del uso de sistemas biológicos en su tratamiento, se utilizó para ello la tabla 1:

Tabla 1. Resultados de la minimización para la concentración final de proteínas

Factor	FES	FESm	Valor
Tiempo de inmovilización (h)	6.0		Mejor
Concentración inicial de proteínas (mg/ml)	4.87608	5.78	Óptimo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la PTAR

- El módulo 1 no funciona.
- Cámara de rejillas: cuenta con una reja rústica que no cumple los parámetros de diseño.
- Obra de entrada y medición de caudales: no se realiza una adecuada lectura de la carga.
- Tanque Inhoff: en la zona de sedimentación hay presencia de sólidos flotantes.
- Sifón dosificador automático: el agua residual no es distribuida uniformemente.
- Filtros percoladores: los brazos distribuidores tienen problemas de diseño y provocan la colmatación del filtro en algunos lugares. La granulometría del medio filtrante tampoco cumple con lo establecido en los criterios de diseño y el filtro se colmata rápidamente.
- Lechos de secado: la luz del sol no incide en ellos.
- Vertedor en el registro de salida: tiene filtración de residual en el lateral derecho.

Caracterización de las aguas residuales

Los resultados de los análisis de laboratorio se presentan en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6.

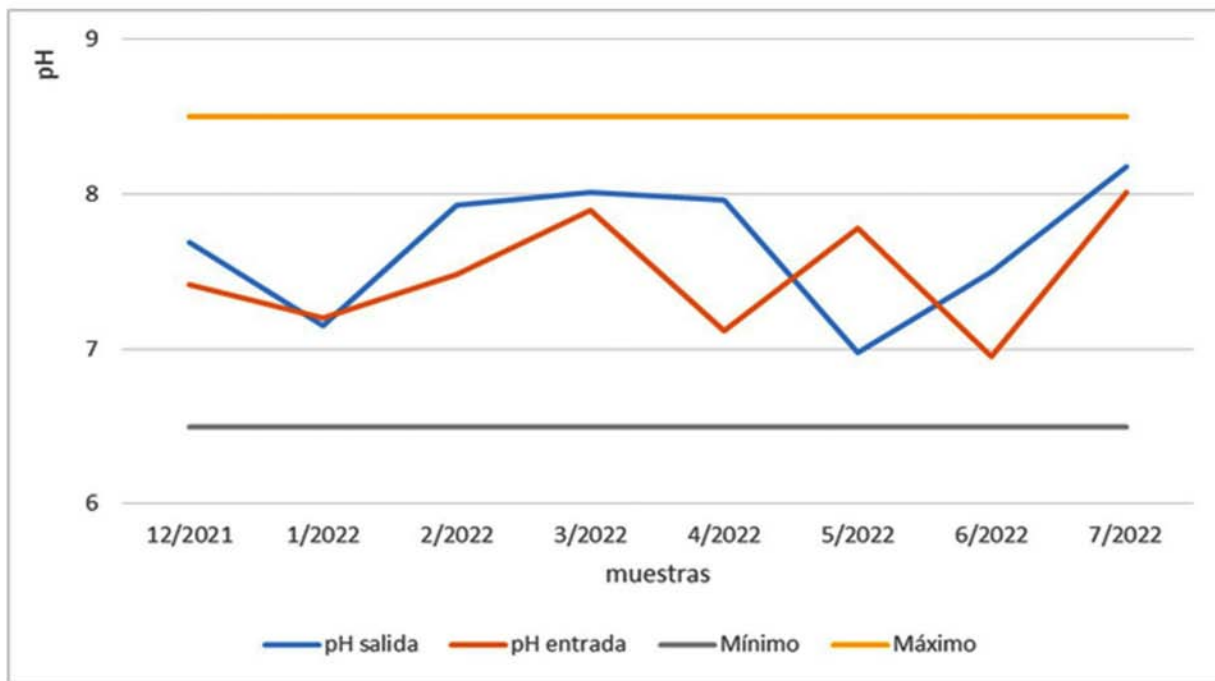


Figura 2. Comportamiento del pH.

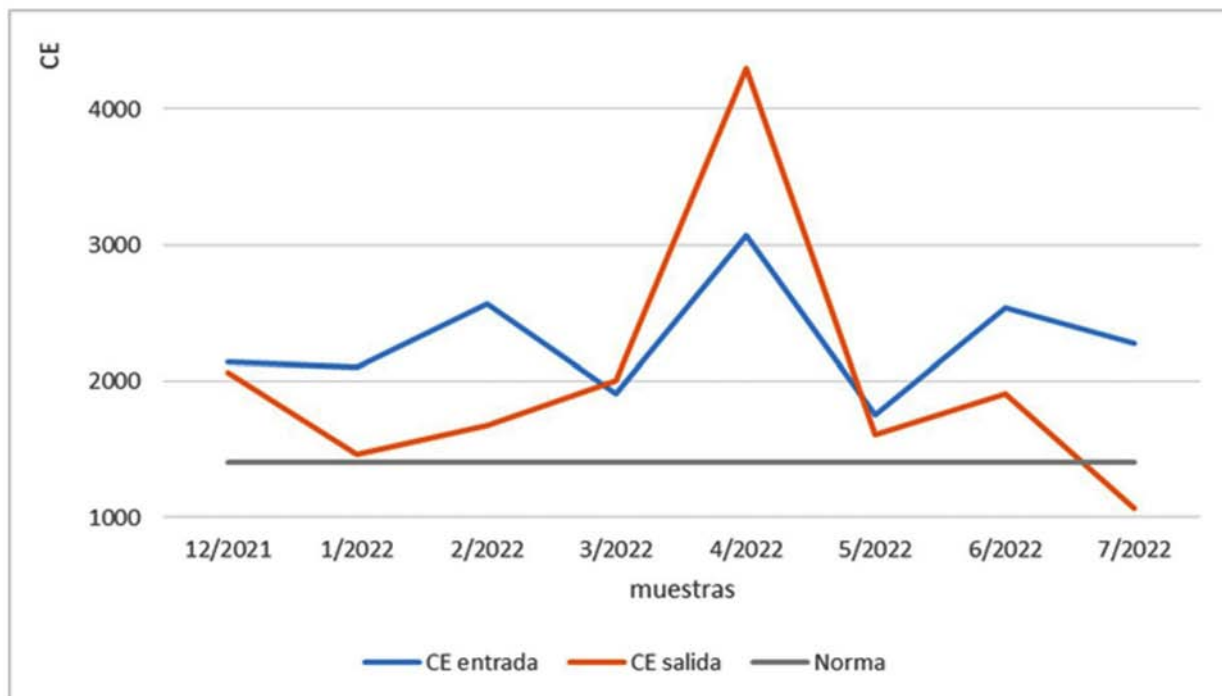


Figura 3. Comportamiento de la conductividad eléctrica (CE).

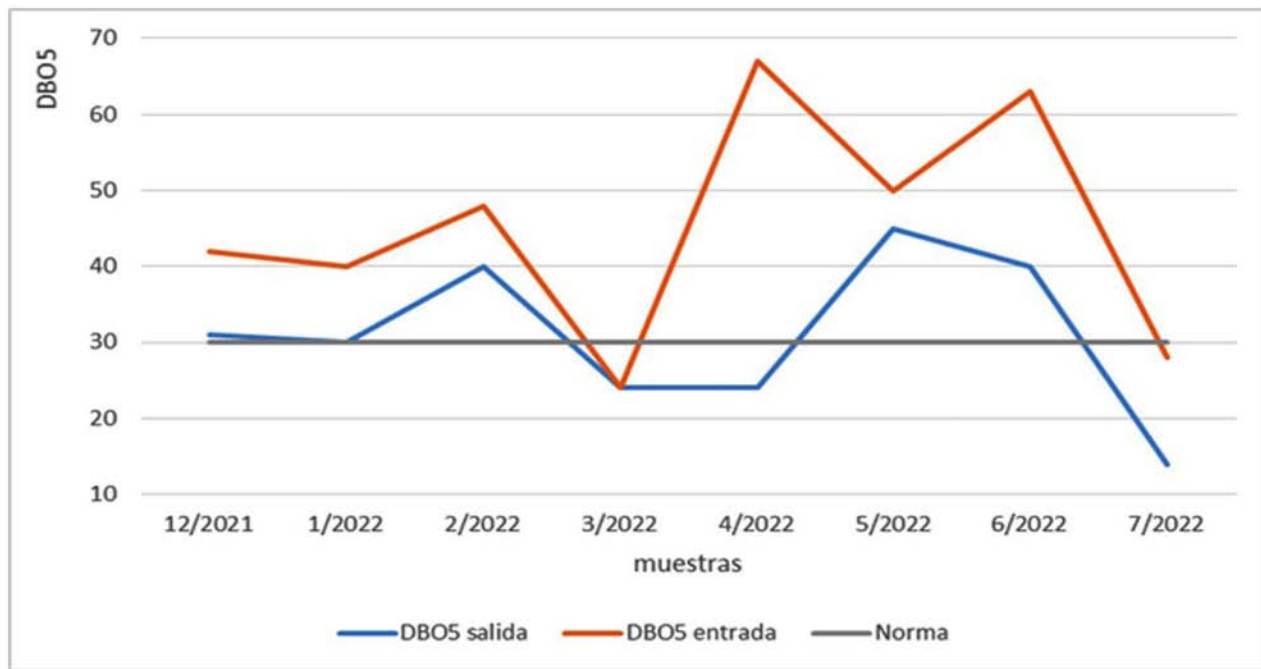


Figura 4. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

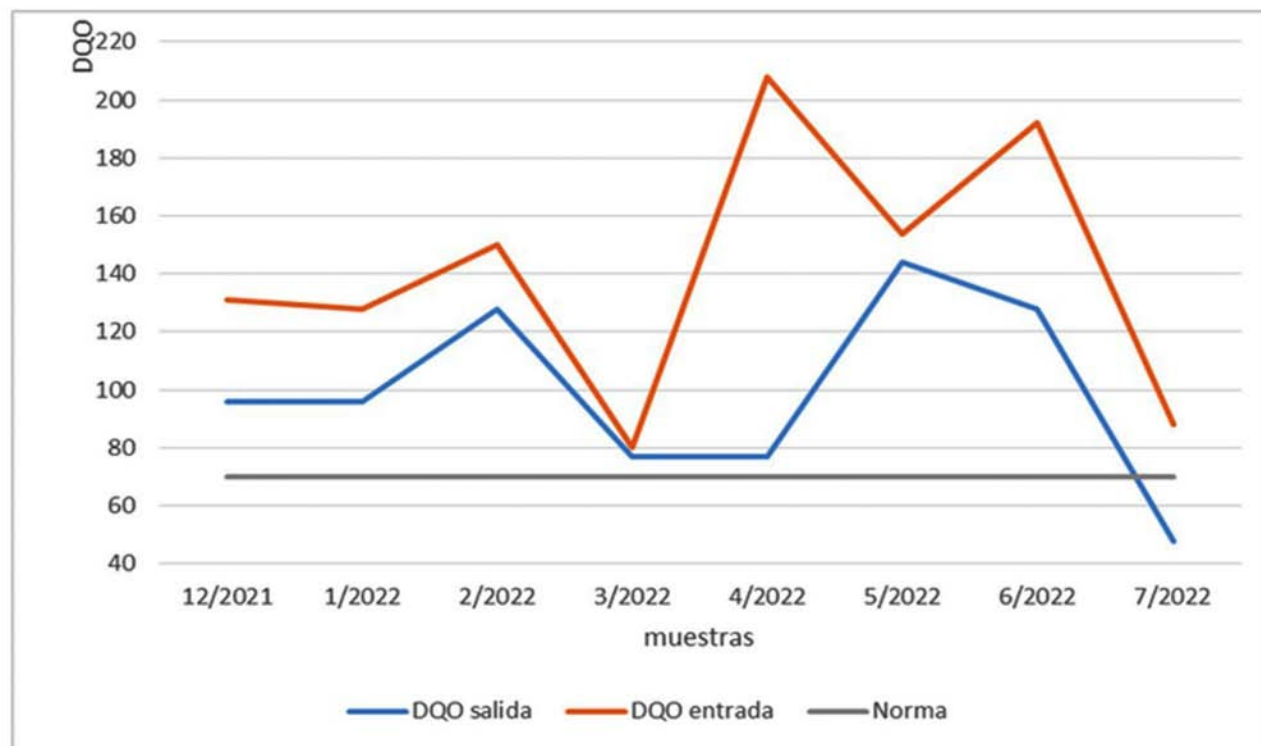


Figura 5. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

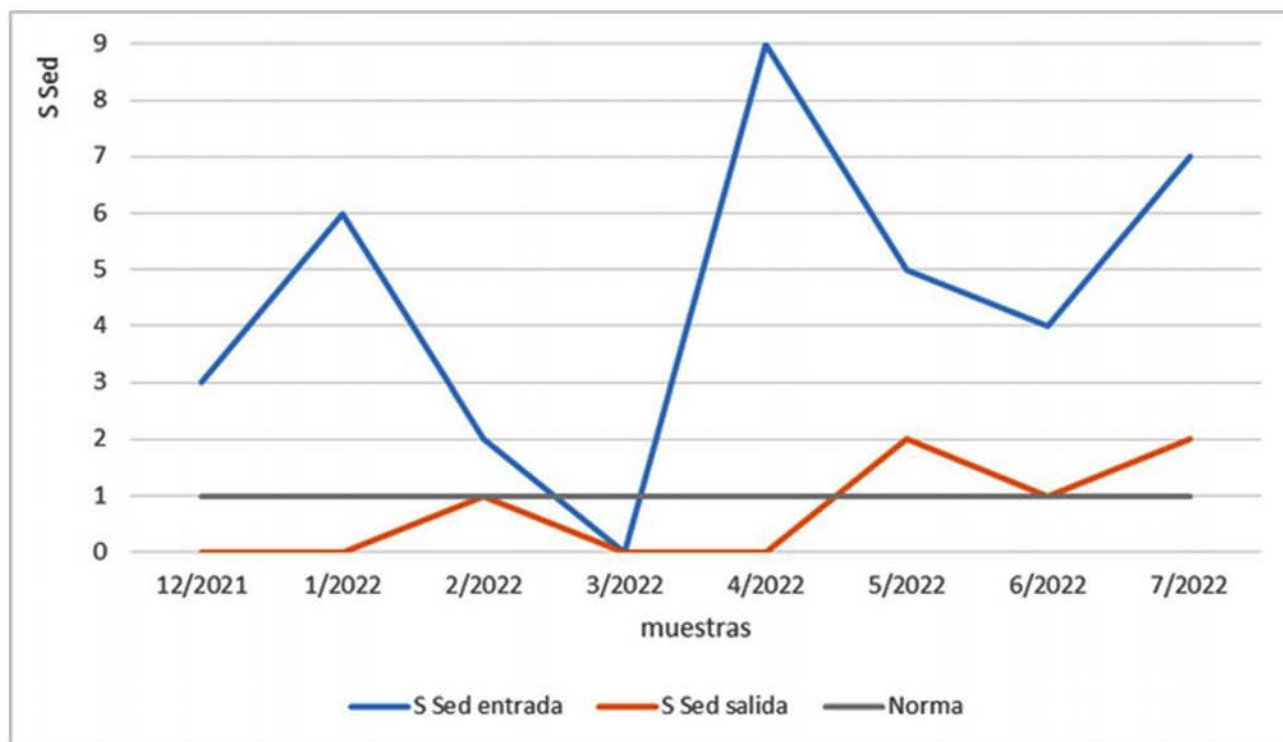


Figura 6. Comportamiento de los sólidos sedimentables.

Con excepción del pH los parámetros físico-químicos incumplieron de forma general las especificaciones de la NC 27:2012. Excepto la CE de marzo y abril, las concentraciones de salida son menores que las de la entrada y el porcentaje de eficiencia es bajo, como muestra la tabla 2.

Tabla 2. Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales La Cuba

Fecha	CE (NC: 1400)	DBO ₅ (NC: 30)	DQO (NC:70)	S sed. (NC:1)
	% Efic	% Efic	% Efic	% Efic
Diciembre	3.50	26.19	26.72	100.00
Enero	30.38	25.00	25.00	100.00
Febrero	34.84	16,67	14.67	50.00
Marzo	0	0.00	3.75	0
Abril	0	64.18	62.98	100.00
Mayo	8.66	10.00	6.49	60.00
Junio	24.56	36.51	33.33	75.00
Julio	52.99	50.00	45.45	71.43
Eficiencia promedio	19.36	28.57	27.30	69.55

Biodegradabilidad del agua residual

La relación DBO₅/DQO calculada da como resultados los mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Relación DBO₅/DQO

	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Promedio
DBO ₅	31	30	40	24	24	45	40	14	31
DQO	96	96	128	77	77	144	128	48	99
DBO ₅ /DQO	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.29	0.31

Evaluación de la PTAR

- El módulo 1 no funciona por problemas de deterioro en las válvulas de purga de lodos.
- Cámara de rejillas: las barras están espaciadas a una distancia de casi 12 cm (debe tener 5 cm como máximo). No está ubicada de forma vertical y no tiene la inclinación correcta.
- Obra de entrada y medición de caudales: el vertedor tiene un muro en la parte delantera que contrae el flujo.
- Tanque Inhoff: debido al mal funcionamiento de la cámara de rejillas algunas partículas llegan al filtro y existen problemas con la válvula de extracción de lodos.
- Sifón dosificador automático: no provee la carga hidráulica requerida para hacer girar los brazos del filtro, ni la carga orgánica necesaria para una eficiente remoción de la materia orgánica.
- Filtros percoladores: los orificios de los brazos distribuidores más cercanos al eje deben estar más espaciados que los más distantes, para lograr que la carga hidráulica y la carga orgánica sean distribuidas uniformemente, lo que actualmente no sucede.

Granulometría: existe una gran amplitud entre el diámetro máximo y mínimo que hace que se acumulen las piedras de mayor tamaño lo que reduce la porosidad.

- Lechos de secado: están cubiertos de vegetación y la extracción de lodo no se realiza frecuentemente.
- Vertedor en el registro de salida: no se realizan mediciones reales del caudal.

Caracterización de las aguas residuales y evaluación de la eficiencia de la remoción de los contaminantes

La planta está tratando con eficacia el residual, ya que en general la CE, DBO₅, DQO y S. sed. de salida son menores que los de la entrada, pero los porcentajes de eficiencia evidencian problemas en el funcionamiento y mantenimiento de los órganos que componen el sistema de tratamiento.

Biodegradabilidad del agua residual

Es conveniente continuar el uso de lechos bacterianos para su tratamiento.

Propuestas de optimización para la PTAR La Cuba

1. Realizar una rehabilitación de la planta que incluya:
 - Construir cámaras de rejillas bien diseñadas.
 - Reparar las válvulas de extracción de lodos del tanque Inhoff primario.
 - Cambiar el medio filtrante de los lechos bacterianos y que se le realice un estudio granulométrico al lecho nuevo para verificar que cumpla con los criterios de diseño.
 - Analizar el diseño de los brazos distribuidores del lecho.
2. Incluir en la cartilla de mantenimiento, el modo de operación de los órganos de tratamiento.
3. Realizar mediciones periódicas de los parámetros en la salida de la planta.
4. Realizar análisis de laboratorio para otros parámetros básicos establecidos en NC: 27/2012.
5. Mejorar las condiciones de acceso a la toma de muestra a la salida de la planta.
6. Reparar la filtración de residual del lateral derecho del registro de salida.
7. Capacitar al personal técnico encargado de las operaciones de la planta.

CONCLUSIONES

1. Los órganos de tratamiento de la PTAR no funcionan correctamente.
2. La caracterización físico-química del agua residual evidenció que la DQO, DBO₅ y CE incumplen las especificaciones de la NC 27:2012.
3. La eficiencia de depuración del sistema de tratamiento para los parámetros DQO, DBO₅, CE y sólidos sedimentables totales es baja.
4. La biodegradabilidad de los contaminantes se encuentra en los límites permisibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez L.,A. (2016). *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de residuales La Cuba*. (tesis de pregrado). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
2. Cabrera, E.I., Arbona, C.M., García, H. M. y González, C.E.(2021). Evaluación de la aplicación de nutriente biológico para tratamiento de aguas residuales de la textilera “Desembarco del Granma”. *Centro Azúcar*. Recuperado de: <http://centrozucar.uclv.edu.cu>
3. Beltrandes, A.Y.(2019). *Propuesta de tratamiento para las aguas residuales del taller No 1 de la fábrica de fibrocemento* (tesis de pregrado). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
4. Cedrón y Cribilleros (2017). *Diagnóstico del sistema de aguas residuales en Salaverry y propuesta de solución* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
5. Díaz, C.E., Alvarado, G.A. y Camacho, C.K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del Sistema Unitario de Tratamiento de Aguas, Nutrientes y Energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676004>
6. Galbán, R.L. (2009). El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 30 (1), 29-35.
7. Lahera, R. V. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 12 (2), 58-69.
8. Lizana, P. (2018). *Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
9. Pérez, M.F., Armenteros, O. T.y Hernández T.J. (2016). Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la empresa de aprovechamiento hidráulico Villa Clara. Centro Azúcar. Recuperado de <http://centrozucar.qf.uclv.edu.cu>
10. Vicente, C. J.(2017). *Optimización del tratamiento de las aguas residuales de la empresa Bucanero S.A.*(tesis de grado). Universidad Oscar Lucero, Holguin. Cuba.
11. Despaigne, R.L.(2016). *Propuesta de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad “Martha Abreu” de Las Villas* (tesis de pregrado). Universidad “Martha Abreu” , Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
12. Rodríguez L.,A. (2016). *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de residuales La Cuba*. (tesis de pregrado). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
13. Méndez, G. (2019). *Propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de Arbelaez a partir del sistema de Deer Island Wastewater treatment Plant* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
14. Norma Cubana (NC) 27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.