

Evaluación del sistema de tratamiento de residuales de una ronera cubana

Liliet Fuentes-Cruz, Osney Pérez-Ones*, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas y José Luis Pérez-de los Ríos

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae
Calle 114, No. 11901, e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao. La Habana, Cuba

*osney@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Se evaluó el sistema de tratamiento de residuales de una ronera cubana, constituido por un sistema de lagunas de estabilización y una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El sistema de lagunas está conformado por tres lagunas, dos aireadas y una anaerobia, que tratan los residuales: condensados de la destilería, aguas negras y residuales del estanque de trasvase. En la PTAR se trata el agua residual proveniente de la limpieza de los efectos concentradores de vinaza, en la destilería. Se realizó la evaluación de cada una de las lagunas de estabilización en funcionamiento y resultó que todas las lagunas se encuentran trabajando incorrectamente. Se propusieron seis modificaciones en el sistema de lagunas, que permitirán mejorar su funcionamiento. Se realizaron pruebas de jarras a las diferentes aguas residuales que se pueden tratar en la PTAR y se hicieron variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden, con el objetivo de determinar las mejores condiciones en cada caso. Se calculó el costo de inversión de las propuestas de mejora para el sistema de lagunas y se valoraron las alternativas de dosificación, analizadas en la PTAR, que arrojaron valores entre 79 962.03 USD y 1 189.63 USD, respectivamente.

Palabras clave: tratamiento de residuales, lagunas de estabilización, aguas residuales.

ABSTRACT

The treatment of the residual's system at a cuban rum factory was evaluated. A stabilization system with three ponds and a residual waters treatment plant (PTAR) was analyzed. The stabilization system has three ponds, two aerobics and one anaerobic. This system treated residuals from the process, black water and residuals from a transfer tank. At the PTAR the treatment of the waste water, coming from the cleaning of the evaporator-concentrators effects for the vinasses occurs. The evaluation of each of the functioning stabilization pond was carried out; none of the ponds works properly. Six changes were proposed to the stabilization pond system to improve its operation. A jar test was made for the different residual waters that can be treated in the PTAR, changing the dosage of the different chemical substances that are added, in order to selected the best operating condition for each case. The investment cost of the proposals for the stabilization system and the dosing alternatives analyzed in the PTAR were done obtaining values of 79 962.03 USD y 1 189.63 USD respectively.

Key words: waste water treatment, ponds, waste water.

INTRODUCCIÓN

El reúso del agua residual, en el riego, representa una oportunidad económica, técnica y ambientalmente sostenible en zonas con baja disponibilidad del recurso hídrico. Las aguas residuales son una fuente de nutrientes para los cultivos y, además, su uso constituye una manera de mitigar el impacto negativo del vertido incontrolado de aguas residuales a cuerpos de agua; sin embargo,

su uso debe ser planificado y responsable, con tratamientos previos, en función del propósito para el que se quiera (1). Las lagunas de estabilización, comparadas con otros sistemas de tratamiento de residuales son una opción viable cuando se cuenta con la disponibilidad de terreno. Ellas son eficientes en la remoción de la materia orgánica, fósforo, nitrógeno y coliformes fecales (2).

En la ronera en estudio existe un sistema de lagunas de estabilización, formado por tres lagunas, dos de ellas trabajan de forma aireada y una anaerobia. La anaerobia no se encuentra en funcionamiento actualmente. A las lagunas llegan los residuales desde las diferentes áreas de la industria, como: son: los condensados de la destilería, las aguas negras provenientes de las oficinas de la planta y los residuales del estanque de trasvase. Estos últimos no van continuamente a las lagunas, solo van cuando el estanque de trasvase está lleno y no tiene más capacidad para liberar los residuales que contiene. Estos residuales son los derrames de vinaza y miel procedentes de la limpieza de las plantas.

Según la Norma cubana NC-27-2012 (3), las aguas residuales provenientes de una industria, que se vierten al río, desde la última laguna en funcionamiento, deben presentar una Demanda química de oxígeno (DQO) menor de 160 mg/L. En la actualidad se han presentado problemas, debido a que la fábrica no está cumpliendo con la norma establecida porque el agua residual vierte al río, la mayoría de las veces, por encima del límite de vertimiento, lo cual puede provocar afectaciones al medioambiente. Estos residuos, al tener un valor de DQO elevado, tienen una demanda de oxígeno alta y cuando se vierten al río, comienzan a consumir oxígeno y las especies que viven en él se pueden ver afectadas.

Además, la fábrica cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que se dedica a tratar el agua residual de la limpieza, de los efectos evaporadores y los condensados sucios de la destilería. Esta planta tiene como corrientes finales un agua tratada, que vierte al sistema pluvial de la fábrica y una corriente de fangos tratados e inertes, en forma de tortas, que van al vertedero municipal. En esta PTAR no se han evaluado diferentes condiciones de trabajo para lograr incrementar la eficiencia de su funcionamiento y una operación estable.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del sistema de tratamiento de los residuales, instalado en la romera, para ello se evaluó el funcionamiento de cada laguna que compone el sistema de tratamiento, a partir de la caracterización de los residuales que llegan a ellas; se realizó la caracterización de las aguas de entrada a la planta de tratamiento de residuales y se determinó la dosificación de reactivos más adecuada para tratar las aguas residuales en la planta de tratamiento. Se propusieron modificaciones para mejorar la operación de los dos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los residuales y procedimiento seguido para la evaluación del sistema de lagunas de estabilización

El sistema de lagunas está diseñado para una DQO de entrada de 3 500 mg/L, como valor máximo, y lograr una remoción de hasta 60 mg/L en el punto de vertimiento. La primera laguna es un estanque que debe permitir la disminución del 85 % de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y lleva dos ventiladores de 18.5 kW. La segunda laguna permite continuar el tratamiento de los efluentes. Por seguridad se equipa de dos ventiladores, pero estos solo deberían ponerse en marcha si la DBO de salida de la primera laguna fuera demasiado elevada. Actualmente, se encuentra trabajando un ventilador en cada laguna. La tercera laguna se destina a un tratamiento de tipo anaerobio. El valor máximo de la carga volumétrica aplicada es de 0.05 kg DBO₅/m³d. El volumen de cada laguna es de 1 250 m³ y la superficie de 1 200 m² (40 m x 30 m). Anteriormente,

las lagunas estaban revestidas con manta, pero debido a los problemas de filtración se retiró esa manta y, actualmente, se encuentran revestidas con hormigón (4).

Los residuales que llegan a las lagunas de oxidación están formados por: condensados extraídos de la vinaza, provenientes de la destilería, con un flujo promedio de 14 m³/h, con altas DBO₅ (2 500 - 3 000 mg/L) y DQO (3 500 – 4 500 mg/L; pH entre (2.5 – 3.5) y temperaturas entre 27 y 32 °C; aguas negras (DQO 147.2 mg/L; 27.5 °C; pH 6.71 y flujo 1.01 m³/h); y aguas residuales del estanque de trasvase, provenientes de la limpieza de todas las plantas de la industria y las aguas de las limpiezas y derrames del área de almacenamiento de melaza y vinaza (DQO 5 990 mg/L; pH 6.97; 34.6 °C y un flujo de 1.51 m³/h) (5).

Para la evaluación de las lagunas se utilizaron los métodos de Marais (6) y de Prieto (7) que consideran que las lagunas se comportan como un reactor de mezcla completa y que la cinética que rige la reducción de la DQO es de primer orden. La DQO en el efluente (S_e mg/L), se calcula a partir de la ecuación 1, conocidos la DQO del afluente (S_o mg/L), la constante cinética (k d⁻¹) y el tiempo de retención hidráulico (θ d.) La constante cinética del sistema (k) depende de la naturaleza del residual que se tratará en la laguna y de las condiciones ambientales, especialmente de la temperatura.

$$S_e = \frac{S_o}{1+k\theta} \quad \text{Ec. 1}$$

Los parámetros fundamentales de la laguna se determinan por las ecuaciones 2 y 3, en las que V: volumen (m³), BA: carga orgánica (g / m² d), As: área (m²) y Q: flujo en la laguna (m³/h).

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 2}$$

$$BA = \frac{S_o * Q}{As} \quad \text{Ec. 3}$$

El rendimiento de la depuración se calcula por la ecuación 4.

$$\text{Eficiencia de remoción} = \frac{DQO_{\text{entrada}} - DQO_{\text{salida}}}{DQO_{\text{entrada}}} * 100 \quad \text{Ec. 4}$$

Para la evaluación de cada una de las lagunas se tomaron muestras puntuales en cada entrada y salida, durante cuatro horas al día, para luego formar una muestra integral de cada punto. El volumen a muestrear en cada punto (hasta contar con un total de 2 L), en la entrada y salida de ambas lagunas, se calculó por la ecuación 5, en las que V_i: es volumen de muestra a tomar en un instante (L), V_T: volumen total de muestra que se desea recolectar al final del período de muestreo (L) N: número de muestras que se van a tomar, Q: flujo promedio determinado previamente (L / h) y Q_i: flujo puntual en el instante de la toma de muestra (L / h). La salida de la primera laguna coincide con la entrada de la segunda. A las muestras integrales obtenidas, se les determinó la DQO.

$$V_i = \frac{V_T}{Q * N} * Q_i \quad \text{Ec. 5}$$

Procedimiento para el tratamiento de los residuales en la PTAR

El agua residual de la limpieza química de los efectos evaporadores del sistema de concentración de vinazas y los condensados de la vinaza que se contaminan cuando hay corte por electricidad, son los residuales fundamentales tratados en la PTAR. Para realizar la limpieza química se usó un método combinado, que alterna ciclos alcalinos, a base de carbonato de sodio e hidróxido de sodio y ciclos ácidos a base de ácido nítrico, con enjuagues entre unos y otros. En esta planta de tratamiento de vinazas existen dos tanques de recepción, equipados con agitadores, uno de 120 m³

en el que se almacenan los residuos de la limpieza y otro de 60 m³ para los condensados sucios. El caudal máximo total a tratar es de 200 m³, en 15 días. En cada uno de los tanques hay una válvula que se regula para que la mezcla a tratar en la PTAR tenga una composición de 80 % de residuos de limpieza y 20 % de condensados (conocida como solución 80-20) (8).

El procedimiento para el tratamiento de los residuales en la PTAR se inicia con una filtración y un decantador que elimina las partículas más gruesas; a continuación, un filtro rotatorio con el objetivo de eliminar las partículas más finas. Luego la solución se pasa por una balsa de homogeneización para ajustar el pH y continúa hacia un decantador primario sin agitación, con el fin de que se produzca la sedimentación del fango. El agua restante pasa al flotador por aire disuelto (DAF) para añadirle los reactivos necesarios y ayudar en la conformación del fango. Aquí, mediante aire, se producen burbujas que arrastran el fango hacia la superficie y unos rascadores lo llevan a través de una tubería al depósito de fangos. Los reactivos a añadir son carbonato de sodio, para ajustar el pH a 12, conveniente para la mayor formación de fango; el coagulante, a fin de que se forme un fango más compacto y polielectrolito para que se formen los flóculos. Más tarde, esta agua pasa a la cámara anóxica y, finalmente, de nuevo ajustar el pH entre 6 y 8 con ácido nítrico y, luego, pasar al reactor aerobio.

El reactor tiene acoplado sopladores de aire que garantizan un porcentaje de oxígeno en agua, mayor que 2 % y, de esta manera, mantener vivas las bacterias en el reactor. En el reactor siempre hay una formación de fango, que se acumula en el fondo y, por la acción de una bomba, se envía al depósito de fango. Por reboso, el agua pasa al sistema de separación por membranas (MBR), con el objetivo de eliminar las sales disueltas y, de esta manera, disminuir la conductividad y cumplir con la norma de vertimiento. A la salida del sistema los residuales tratados se vierten al sistema pluvial de la fábrica. A todo el fango que se encuentra en el depósito se le añade hidróxido de calcio, hasta obtener un pH de 7, para neutralizarlo y bombearlo a un filtro prensa y, así, formar las tortas inertes que se vierten al desagüe municipal.

Procedimiento para el análisis de la efectividad del tratamiento utilizado

Se analizaron seis variantes, de las posibles combinaciones, entre las aguas residuales tratadas en la PTAR, con el objetivo de conocer con qué dosificación, en cada uno de los reactivos utilizados en el proceso antes descrito, había mayor formación de fango. Los reactivos evaluados fueron carbonato de sodio, coagulante y polielectrolito. La fábrica tiene como norma que, con 10 L/h de coagulante y carbonato de sodio y 20 L/h de floculante, se trata 1 m³/h de solución 80-20. Las alternativas de dosificación estudiadas para cada variante fueron cinco: para la norma establecida y para un 15, 25, 35 y 50 % mayor de dosificación. A las soluciones 80-20 preparadas se les determinó conductividad eléctrica, pH y DQO, para tener una previa caracterización de las muestras a procesar.

Procedimiento seguido en el experimento: se tomó una muestra de solución 80-20 y se prepararon 800 mL de solución (640 mL de residuos de limpieza y 160 mL de condensados para cada variante, excepto las 4 y 5, en las que los 800 mL fueron de residuos de limpieza). Las muestras se colocaron en un agitador mecánico IKA – WERKER de 14/4 W de potencia y luego se añadieron los reactivos, mientras se encontraban en agitación, de acuerdo con las dosificaciones estudiadas, se mantuvo la agitación durante 5 minutos. Seguidamente se dejaron reposar y, a la hora, se midió el fango formado. En la tabla 1 se muestran las cantidades de cada reactivo usado.

Tabla 1. Dosificación de reactivos

Reactivos	Norma (mL)	+ 15 % (mL)	+ 25 % (mL)	+ 35 % (mL)	+ 50 % (mL)
Carbonato de sodio	8	9.2	10	10.8	12
Coagulante	8	9.2	10	10.8	12
Floculante (Polielectrolito)	16	18.4	20	21.6	24

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presenta el resultado de la evaluación de las corrientes de entrada y salida de las dos lagunas en funcionamiento.

Tabla 2. Resultados de la evaluación de cada una de las lagunas

Tiempo (h)	Entrada a la primera laguna		Entrada a la segunda laguna		Salida de la segunda laguna	
	Q (L/s)	Vi (L)	Q (L/s)	Vi (L)	Q (L/s)	Vi (L)
0	3.55	0.453	3.11	0.426	2.85	0.464
1	3.70	0.472	3.20	0.438	2.97	0.484
2	4.15	0.529	3.80	0.520	3.15	0.513
3	4.27	0.545	4.50	0.616	3.30	0.537
Muestra integral	3.92	2.0	3.65	2.0	3.07	2.0
Q m ³ /h	14.10		13.14		11.05	
DQO mg/L	826		757		637	

La diferencia de flujo puede estar causada por la evaporación y la filtración. Si se atiende a las dimensiones de las lagunas y al índice de evaporación de 5 L/m²d (9), el flujo de agua evaporada es de 0.25 m³/h; si a la diferencia entre los flujos en las lagunas se le resta el flujo de agua evaporada puede obtenerse el flujo que se filtra a través del hormigón con que está cubierta la laguna. Esto arroja que entre 0.71 m³/h y 1.84 m³/h se filtran en la primera y segunda lagunas, respectivamente.

A partir de los resultados experimentales se calcularon los parámetros de las dos lagunas mediante las ecuaciones de la 2 a la 5, estos resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la evaluación de las lagunas

Parámetros	Laguna 1	Laguna 2
θ (d)	3.96	4.71
k (d ⁻¹)	0.023	0.040
BA (g / m ² d)	232.93	198.94
Eficiencia de remoción (%)	8.35	15.85

La baja eficiencia de las lagunas puede explicarse por la alta carga orgánica, debido a los frecuentes cortes de electricidad que causan la mezcla de los condensados limpios, que van a las lagunas, con condensados sucios de una carga orgánica muy elevada; para su correcto funcionamiento este valor debe encontrarse entre 50 y 70 %. No obstante, estos resultados tienen como limitante que, aunque se obtuvieron muestreos compuestos consecutivos, no se realizaron durante 24 horas (10).

Propuestas de mejora en el sistema de lagunas, para lograr un adecuado funcionamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos y con las diferencias entre las condiciones de diseño y las actuales, se realizaron seis propuestas, que no son excluyentes, con el objetivo de mejorar el funcionamiento del sistema de tratamiento de estos residuales.

Propuesta 1: Poner en funcionamiento la tercera laguna, dada la alta carga orgánica del agua residual que entra al sistema de lagunas de estabilización, debido a la naturaleza de los condensados.

Propuesta 2: Reorganizar el esquema de tratamiento de la planta e instalar la laguna anaerobia como primera fase en el tratamiento de las aguas residuales, con alto contenido de materia orgánica biodegradable.

Propuesta 3: Sustituir por una válvula automática, la válvula manual defectuosa que debería impedir la mezcla de los condensados sucios y limpios.

Propuesta 4: Instalar dos nuevos aireadores en las lagunas, con el fin de reponer el sistema que tenían originalmente de dos aireadores por laguna. Esto propiciaría mayor cantidad de oxígeno disuelto, lo que aumentaría la actividad biológica; además de oxigenar, el aireador debe producir corrientes de circulación que eviten la sedimentación del lodo biológico.

Propuesta 5: Instalar un filtro a la entrada de la primera laguna, con el objetivo de eliminar sólidos en suspensión e impedir su entrada a esta.

Propuesta 6: Debido a que los condensados provenientes de la destilería presentan bajos valores de pH se recomienda poner en funcionamiento el sistema de neutralización de condensados a fin de elevar el pH hasta un valor entre 6 y 8, conveniente para mantener vivas las bacterias en las lagunas.

Para operar el sistema de estabilización de forma satisfactoria se requiere de 79 962 USD, desglosados como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Financiamiento necesario para la ejecución de cada propuesta

Propuestas	Requerimiento fundamental	Valor (USD)
1	Minidraga a succión	38 102
2	Construcción de soportes e instalación eléctrica	2 930
3	Válvula automática	250
4	Aireador (2)	37 342
5	Filtro	286
6	Acondicionamiento del sistema de neutralización	1 052

Resultados de las variantes de tratamiento analizadas en la PTAR

En la tabla 5 se muestra el resultado de la evaluación de los parámetros medidos para caracterizar los residuos de limpieza, los condensados sucios y los condensados limpios, así como la mezcla formada entre ellos, para cada una de las variantes estudiadas. En cada caso se señala el tipo de ciclo de limpieza del que provenían los residuales. Para completar la evaluación, en la figura 1 se presenta la comparación del volumen de fango, formado en cada tipo de residual tratado en las diferentes dosificaciones.

Tabla 5. Caracterización de los residuales a tratar en la PTAR

Residuales	Variante 1 (un ciclo de limpieza: un alcalino + un ácido)			Variante 2 (dos ciclos de limpieza: dos alcalinos + dos ácidos)			Variante 3 (un ciclo de limpieza: un alcalino + un ácido)		
	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)
Residuos de limpieza	12.33	52.7	3 679	12.22	39.4	3 913	12.33	52.7	3 679
Condensados sucios	3.99	11.01	42 842	4.40	6.85	42 842	-	-	-
Condensados limpios	-	-	-	-	-	-	3.15	0.18	845
Mezcla	11.73	33.7	12 886	11.73	20.6	14 996	11.95	32.4	9 786
Residuales	Variante 4 (un ciclo de limpieza: un alcalino + un ácido)			Variante 5 (dos ciclos de limpieza: dos alcalinos + dos ácidos)			Variante 6 (un ciclo de limpieza: un alcalino + un ácido)		
	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	DQO (mg/L)
Residuos de limpieza	12.33	52.7	3 679	12.22	39.4	3 913	12.22	39.4	3 913
Condensados sucios	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condensados limpios	-	-	-	-	-	-	4.29	0.30	845
Mezcla	-	-	-	-	-	-	12.01	25.5	3 092

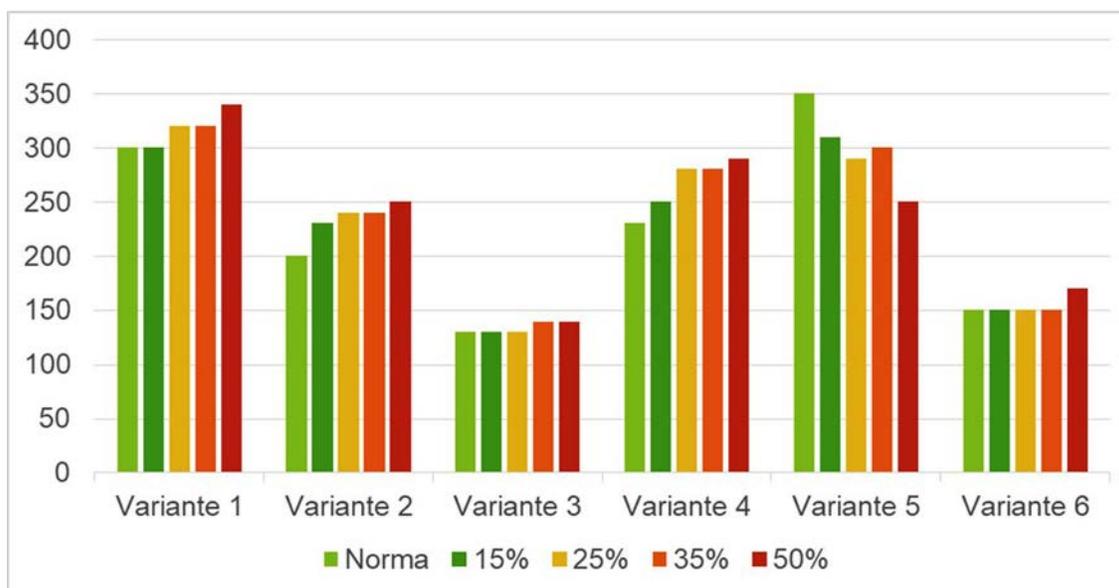


Figura 1. Volumen de fango formado (mL).

De acuerdo con volumen de fango formado, para las variantes 1, 3 y 5 se selecciona como la mejor dosificación la establecida en la norma, puesto que en las demás alternativas la formación de fango es igual o ligeramente superior a la que se alcanza con la norma, y no se justifica el mayor gasto de reactivo.

Para la variante 2, la dosificación seleccionada se corresponde con un 15 % mayor que la norma establecida, puesto que la cantidad de reactivos a utilizar no es mucho mayor y se forma una cantidad de fango considerable (15 % más).

Para la variante 4, a partir de la formación de fango se selecciona como mejor dosificación la que contiene 25 % más que la cantidad normada. Con ella hay mayor gasto de reactivo, pero la cantidad de fango es superior, lo que es conveniente para el funcionamiento adecuado de la PTAR.

Para la variante 6, aunque con un 50 % mayor, se obtuvo un volumen de fango superior, no se justifica el gasto de reactivo, puesto que la cantidad de fango formada es solamente un 13 % mayor, por consiguiente, se mantiene la norma establecida.

Las variantes 2 y 4 tienen un consumo de reactivo mayor que el actual. Conociendo que se tratan 120 m³ de aguas residuales de la limpieza química por campaña de producción de la destilería, se obtuvieron los índices de consumo de cada reactivo, su costo y el gasto de estos reactivos para las variantes a modificar. En la tabla 6 se muestran los índices de consumo por reactivo actualmente, los nuevos para cada variante. En la figura 2 se presenta la comparación del costo de reactivos para las alternativas modificadas y la norma.

Tabla 6. Índices de consumo según la norma y para las variantes modificadas

Reactivos	USD	Índice de consumo por plan	Costos	Índice de consumo	Índice de consumo
				Variante 2 (1:15)	Variante 4 (1:25)
Polielectrolito	kg/m ³	0.025	6.67 USD/kg	0.0288	0.0312
Coagulante inorgánico	L/m ³	8.33	2.51 USD/L	9.5795	10.4125
Coagulante orgánico	L/m ³	0.83	3.61 USD/L	0.9545	1.0375
Carbonato de sodio	kg/m ³	1.25	0.57 USD/kg	1.4375	1.5625

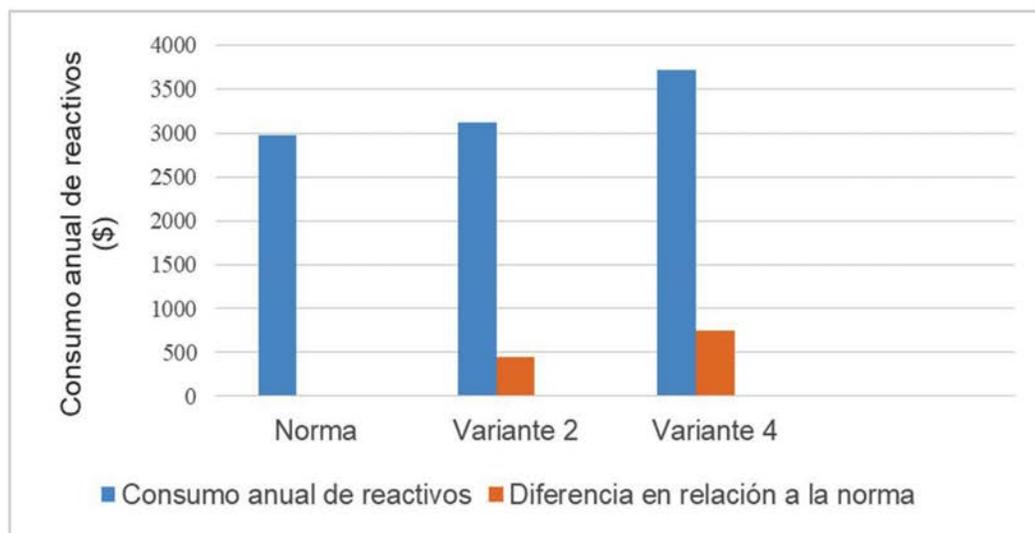


Figura 2. Consumo anual de reactivo para la norma y las nuevas variantes.

Con el incremento en el consumo de reactivos se logra la formación de mayor cantidad de fango en el flotador y que las aguas residuales que llegan al biorreactor de membranas reduzcan la tendencia a la tупición de las membranas que hoy existe y, con ello, se alargue su vida útil.

Se recomienda analizar la factibilidad de tratar el volumen de condensados sucios acumulados, durante toda la campaña debido a los cortes por electricidad, en la planta de concentración de vinazas, para no enviarlos a la PTAR.

CONCLUSIONES

- La aplicación de los métodos de Marais y de Prieto permitió determinar que las lagunas no se encontraban trabajando correctamente, pues obtenían valores de eficiencia de remoción menores de 16 %, por lo que se debe proceder a incorporar las propuestas de modificación al sistema de estabilización.
- Con la caracterización de las aguas de entrada a la PTAR se concluyó que los condensados sucios presentan valores de DQO elevados, puesto que se contaminan con vinazas de alta DQO. De las variantes analizadas en la PTAR: hay dos ciclos de limpieza que se tratan condensados sucios y residuos de limpieza y el caso en que hay un ciclo de limpieza y se tratan residuos solamente, la dosificación de reactivos no es la mejor para la norma establecida, sino para un 15 y un 25 % mayor, respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Campos M, Castillo E. Evaluación del agua tratada por la laguna de oxidación para su reutilización en el riego de sembríos, en el distrito de Chulucanas – Piura. Director: Krissia Valdiviezo. Tesis de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Piura, Perú. 2021.
2. Treviño A, Cortés F. Método de diseño reducido para lagunas de estabilización. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 17(4):729-742, 2016.
3. Oficina Nacional de Normalización. Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado. Especificaciones, NC-27-2012. Cuba, 2012.
4. Ingénierie E. Determinación de las lagunas. Nota de cálculo. Proyecto Bacchus. Havana-Cuba. 2008.
5. Fuentes L. Evaluación del sistema de tratamiento de residuales de la Ronera San José. Directores: Osney Pérez y Lourdes Zumalacárregui. Tesis de grado en Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, 2020.
6. Menéndez Gutiérrez C. Tratamiento de agua y gestión y tratamiento de residuos. Habana: Félix Varela, 2010. 353 pp. ISBN 978-959-261-360-7.
7. Ramón J. A., Prieto M. A. Evaluación del grado de rendimiento hidráulico de las lagunas de estabilización del sistema de tratamiento de las aguas residuales urbanas de Tierra Linda, Iscaligua y el Portal del Municipio de Los Patios Norte de Santander. Revista Infometric, 3(1):17-34, 2020.
8. Vázquez Medina L. Taller teórico sobre evaporación, formación y eliminación de incrustaciones. Ronera Havana Club Internacional, Cuba. 29 de octubre de 2014.
9. Cortés F., Treviño A. Diseño gráfico para la materia orgánica y el tiempo de retención en lagunas facultativas. Tecnología y ciencias del agua, 11(2):158-189, 2020. DOI: 10.24850/j-tyca-2020-02-04.
10. Sánchez R., Rosa E., Moreno M. Análisis de la confiabilidad del funcionamiento de lagunas facultativas primarias en Villa Clara-Cuba. Revista Tecnología Química, 31(1):22-38, 2011.