

Artículo Original

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE NUTRIENTE BIOLÓGICO
PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
TEXTILERA “DESEMBARCO DEL GRANMA”**

**BIOLOGICAL NUTRIENT APPLICATION FOR WASTEWATER TREATMENT
IN TEXTIL INDUSTRY “DESEMBARCO DEL GRANMA” EVALUATION**

Isabel Cabrera Estrada ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

Mercedes Arbona Cabrera ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1096-7648>

María de los Ángeles García Hernández ² <https://orcid.org/0000-0002-4361-8850>

Elizabeth González Cortés ³ <https://orcid.org/0000-0002-3491-8691>

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² UB “Desembarco del Granma”. Carretera a Camajuaní km 2 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Laboratorio de Cosméticos Labiofam. Cuba 172 e/ San Miguel y Nazareno.
Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 8, 2020; Revisado: Marzo 16, 2020; Aceptado: Mayo 29, 2020

RESUMEN

Introducción:

La textilera “Desembarco del Granma” tiene un sistema de tratamiento de residuales líquidos mediante lodos activados. Fluctuaciones del caudal de dichas aguas inducen déficit de cargas orgánicas. Se requiere suplir las necesidades de nutrición de los microorganismos del proceso.

Objetivo:

Evaluar la factibilidad de la aplicación del CENTERFOOD XL para mejorar la calidad del sistema de tratamiento de agua residual en la textilera “Desembarco del Granma”.

Materiales y Métodos:

Se emplearon aguas residuales de la textilera y como nutriente el CENTERFOOD XL (1g/L de agua residual) (COLORCENTER CENTERFOOD XL, 2016). La efectividad del tratamiento se evaluó por los sólidos suspendidos volátiles (SSV). Los resultados se procesaron con el software *Statgraphics*.

Resultados y Discusión:

Se obtuvo la dependencia entre SSV con concentración de nutriente, tiempo y plantas de producción trabajando. Tras 15 días sin trabajar las plantas de producción, los SSV son



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Isabel Cabrera, Email: icabrera@uclv.edu.cu



1712,8 y 3068,25 mg/L sin y con adición de nutrientes respectivamente. La inversión es \$ 51253,58. La contaminación de cuerpos receptores disminuye, los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente cumplen con lo establecido (NC 27, 2012).

Conclusiones:

Se debe agregar 1g de CENTERFOOD XL por litro de agua residual, en la planta de tratamiento de la textilera, si existieran paradas hasta de quince días y los SSV están por encima de 3000 mg/L. El costo de inversión del sistema de flujo es \$ 51253,58. Suministrar 1200,19 kg del nutriente, cada quince días, cuesta \$ 3360,54.

Palabras clave: industria textil; lodo activado; nutriente biológico.

ABSTRACT

Introduction:

“Desembarco del Granma” textile factory has a liquid waste treatment system using activated sludge. Fluctuations in these waters flow cause an organic loads deficit. It is necessary to meet microorganism’s nutritional needs in process.

Objective:

To evaluate the feasibility of applying CENTERFOOD XL to improve wastewater treatment system in the textile factory "Desembarco del Granma".

Materials and methods:

CENTERFOOD XL (1 g/L of wastewater) (COLORCENTER CENTERFOOD XL, 2016) was used as nutrient for wastewater from the textile factory. The treatment effectiveness was evaluated by the suspended volatile solids (SSV). Results were processed with Statgraphics software.

Results and Discussion:

Dependence between SSV with nutrient concentration, time and production plants working was obtained. After 15 days without working production plants, SSV are 1712.8 and 3068.25 mg/L without and with nutrients addition respectively. The investment is \$ 51253.58. Receiving bodies contamination decreases, effluent Chemical Oxygen Demand (COD) values comply with the established in (NC 27, 2012).

Conclusions:

One gram of CENTERFOOD XL should be added per residual water liter of, in treatment plant, if there are breaks superior to fifteen days, and SSV are above 3000 mg/L. Flow system investment cost is \$ 51253.58. Nutrient supply every fifteen days is 1200.19 kg and it costs \$ 3360.54.

Keywords: textile industry; activated sludge; biological nutrient.

1. INTRODUCCIÓN

Para Cuba el agua constituye un recurso valioso en aras de garantizar su desarrollo, así como su seguridad ambiental y alimentaria, lo que solo será posible mediante la gestión sostenible de sus recursos hídricos, sobre la base de la eficiencia, el ahorro y su protección. Una ruta deseable para alcanzar el uso sostenible del agua en el país sugiere:

disminuir aceleradamente las pérdidas de agua en las redes, alcanzar la eficiencia hídrica en la agricultura y la industria, ahorrar el agua mediante la medición, el control de su uso y la aplicación de tarifas de acuerdo al consumo, reducir la contaminación en los cuerpos de agua e incrementar el aprovechamiento de las aguas residuales. El impacto de la industria química sobre el ambiente es producto del manejo irracional del agua y de los residuos, muchos de los cuales se constituyen en una amenaza para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Estos residuos son vertidos directa e indirectamente en los cuerpos de agua superficiales, a fin de diluirlos y dispersarlos. La presencia en exceso de compuestos como N, P, K que favorecen fenómenos de eutrofización, el cambio de la temperatura del agua, ya sea enfriándola o calentándola y el vertido de sustancias orgánicas e inorgánicas han provocado a nivel global la contaminación de ríos y lagos, lo que produce serias alteraciones en las características del agua, afectando negativamente su calidad de acuerdo a Flores, (2016).

La depuración de las aguas residuales puede llevarse a cabo mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En función de las características de estos residuales, de su carga orgánica así como la presencia en ellos de compuestos químicos inorgánicos, se aplicará uno u otro tipo de tratamiento o la combinación de algunos de ellos.

Los tratamientos más usados son los que involucran microorganismos, por ser muy económicos, eficientes y porque no producen subproductos contaminantes, además de utilizarse en lugares donde se generan contaminantes orgánicos, como en el caso de la industria textil según lo plantea Chudoba (1986).

La Unidad Básica (UB) textilera “Desembarco del Granma” cuenta con un sistema de tratamiento de residuales líquidos que recibe las aguas residuales producidas principalmente en los procesos de blanqueo y preparación de tejeduría, trayendo consigo diversidad de productos químicos tales como: almidones, peróxido de hidrógeno, sosa cáustica, así como gran cantidad de sustancias orgánicas, tintes dispersos y pigmentos que son usados en los talleres de teñido y acabado. El tratamiento de aguas residuales textiles es realizado mediante un proceso aeróbico de lodos activados donde intervienen bacterias aeróbicas, hongos, protozoos, metazoos, materia orgánica y sólidos suspendidos. Los microorganismos absorben las sustancias orgánicas dentro de sus cuerpo y las almacenan, donde son oxidados y descompuestas por la acción de la respiración. La energía resultante de este proceso es utilizada para el crecimiento y proliferación del lodo activado como lo expresa Díaz, (2006).

Para que un sistema biológico funcione correctamente requiere de cantidades adecuadas de nutrientes. Las características del medio en el que se desarrollan los microorganismos encargados de la depuración influyen de manera directa sobre el rendimiento de estos procesos. Dentro de estas condiciones ambientales, la presencia de macro y micronutrientes en el medio es primordial para un desarrollo adecuado de estas poblaciones biológicas. La ausencia de nutrientes repercute negativamente sobre el estado metabólico de la microbiota presente en los fangos, disminuyendo la eficiencia de depuración, según Cruz (2011).

Cuando tiene lugar una deficiencia de nutrientes, normalmente existe una superproducción de polisacáridos. La consecuencia de todo ello es que el fango pasa a tener una pobre decantabilidad, un posible efecto *bulking* (fango filamentoso) y

problemas en su deshidratación, también este efecto puede producirse por deficiencia de oxígeno. La deficiencia de nutrientes provoca en la biomasa una merma de su actividad biológica normal y por lo tanto con la incorporación de nutrientes esta actividad va reactivándose con el tiempo.

El nitrógeno y fósforo pueden ser un factor limitante en caso de que no estén presentes en cantidades suficientes en el agua residual. Por esta razón, se hace necesario controlar el proceso mediante la adición de cantidades de nutrientes necesarias para que la depuración biológica se desarrolle normalmente. Dentro de las fuentes de fósforo más utilizadas para la adición de nutrientes a aguas residuales se encuentra una mezcla de 50/50 % de K_2HPO_4/KH_2PO_4 y H_3PO_4 con control de pH. La principal fuente de nitrógeno empleada es la urea, aunque pueden usarse otros compuestos. Para su uso se recomienda dosificarla en cabecera de planta, con el fin de permitir un tiempo suficientemente largo como para que la enzima ureasa la pueda hidrolizar y dar paso a la formación de aminas que subsecuentemente serán utilizadas por las bacterias.

Aunque el papel de los macronutrientes es el fundamental, los micronutrientes no se pueden obviar, tal es el caso del hierro que representa el 0,2% de la célula y un componente esencial para el proceso de oxidación-reducción de las reacciones bioquímicas que afectan directamente a la formación del flóculo, de acuerdo a (Serrano y col., 2005).

En la textilera “Desembarco del Granma” existen fluctuaciones del caudal de las aguas residuales, debido a las limitaciones que se han presentado en la materia prima, lo que trae como consecuencia el déficit de cargas orgánicas y nutrientes que poseen los residuales líquidos. Por tanto, es necesaria la adición de sustancias que favorezcan los nutrientes para los microorganismos implicados en el proceso de depuración de las aguas. Anteriormente, a estos residuales se le añadía hidróxido de amonio (NH_4OH) al 30% y ácido fosfórico (H_3PO_4) al 16%, pero existen problemas con la adquisición de estas sustancias.

A la empresa se le ofertó un producto que actúa como una mezcla de nutrientes para el desarrollo efectivo de la depuración, esta sustancia llamada CENTERFOOD XL, es desarrollada por la empresa española COLORCENTER quien se encarga de investigar e innovar en el mercado de la química textil, en la cual disponen de una amplia gama de soluciones biológicas, destacando refuerzos de la biomasa, minimización de fangos generados, eliminación de compuestos específicos y ayudas biológicas (COLORCENTER CENTERFOOD XL, 2016). El CENTERFOOD XL, es una mezcla equilibrada a base de carbono, nitrógeno y fósforo orgánico e inorgánico de alta eficacia y fácilmente asimilable C, N (5,5-7,5%) P (2-3%), por lo que garantiza el justo aporte de nutrientes para un buen metabolismo bacteriano. El CENTERFOOD XL es indispensable en el caso de paro de la instalación de depuración de aguas residuales, disminución del caudal de entrada de las aguas a depurar, o bien en el caso de cierre de la actividad productiva, según COLORCENTER CENTERFOOD XL, (2016).

El presente artículo tiene por objetivo evaluar la factibilidad de la aplicación del CENTERFOOD XL para mejorar la calidad del sistema de tratamiento de agua residual en la UB “Desembarco del Granma”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio a nivel de laboratorio, donde las variables consideradas se muestran en la Tabla 1. Para seleccionar el intervalo de la variable plantas trabajando, se tuvo en cuenta que la sección que se dedica a la producción de gasa quirúrgica se mantiene operando aún en el peor escenario, dada la importancia que tiene para el sector de la salud. El valor máximo (3) se estableció teniendo en cuenta el total de plantas principales: Tejeduría, Acabado y Gasa quirúrgica. En el caso de la cantidad de nutriente se toman como límites para la variable los valores de cero (que se corresponde con la situación actual donde no se le añade el nutriente) y un gramo/litro (por ser la concentración recomendada por el fabricante). Las aguas residuales muestreadas estaban compuestas por el aporte de las aguas albañales en todos los casos y la contribución de los residuales de tres plantas de producción (las cuales fueron: hilo teñido, blanqueo y estampado) o la contribución de la planta de hilo teñido, cuando se produjo la parada de las otras dos plantas. La variable respuesta fue los sólidos suspendidos volátiles.

Tabla 1. Variables consideradas en el diseño de experimentos

<i>Variable</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>
Cantidad de nutriente biológico (g/L de agua residual)	0	1
Plantas trabajando	1	3
Tiempo (días)	0	15

El nutriente biológico utilizado fue el CENTERFOOD XL, cuyas características se muestran en la Tabla 2, según (COLORCENTER CENTERFOOD XL, 2016).

Tabla 2. Características del nutriente biológico utilizado

<i>Composición Química</i>	Compuestos de C, N (5.5-7.5%) y P (2-3%) en solución
<i>Aspecto</i>	Líquido transparente ligeramente amarillo
<i>Carácter iónico</i>	No valorable
<i>pH</i>	Aproximadamente 7,0
<i>DQO</i>	500-600 mgO ₂ /g

Se empleó la técnica de determinación de SSV, (método gravimétrico, evaporación a 103-105 °C de los sólidos suspendidos totales (SST). Los SSV representan la materia orgánica que se volatiliza, es decir los microorganismos presentes en el licor mezclado. Los métodos para la determinación de sólidos son fáciles de realizar y están diseñados para obtener información sobre los diferentes tipos de sólidos presentes. Los experimentos se realizaron cada uno con su réplica y se tomaron las muestras en forma compuesta en cada caso. Se realizó un muestreo frecuente cada 15 minutos lo que permitió la estimación de la concentración media durante el periodo evaluado, teniendo en cuenta que la velocidad de flujo en el punto de toma fuera lo suficientemente alta (3,5 m/s) para que no se depositaran los sólidos en correspondencia con la norma (APHA, 2005).

2.1 Ecuaciones utilizadas para determinar los sólidos suspendidos volátiles

Sólidos suspendidos totales (SST):

$$SST = A - B \quad (1)$$

Donde: A: peso de la cápsula con la muestra seca (g)

B: peso cápsula vacía (g)

Sólidos suspendidos fijos (SSF):

$$SSF = C - B \quad (2)$$

Donde: C: peso de la cápsula con la muestra incinerada (g)

B: peso cápsula vacía (g)

Sólidos suspendidos volátiles (SSV):

$$SSV = SST - SSF \quad (3)$$

2.2 Ecuaciones empleadas para calcular la carga de la bomba

Para el diseño del sistema de flujo que permitirá incorporar el nutriente al reactor biológico se empleó la ecuación de Bernoulli (ecuación 4) para desarrollar el balance de energía mecánica y se aplicó la metodología descrita en la literatura (Rosabal y Valle, 2006):

$$H = \Delta z + \left(\frac{\alpha * V^2}{2 * g} \right) + \left(\frac{-\Delta P}{\rho * g} \right) + \left(\frac{f * L * V^2}{2 * d * g} \right) + \sum k_i * \frac{V^2}{2 * g} \quad (4)$$

$$hf = \left(\frac{f * L * V^2}{2 * d * g} \right) \quad (5)$$

$$hrl = \sum k_i * \frac{V^2}{2 * g} \quad (6)$$

Donde: H: carga de la bomba (m); ΔZ : diferencia de altura entre los puntos considerados (m); pérdidas por fricción hf (m) y pérdidas por resistencias locales hrl (m); v: velocidad del fluido (m/s); g: aceleración de la gravedad (m/s^2); k_i coeficientes de resistencias locales, ρ : densidad del fluido (kg/m^3), μ : viscosidad del fluido (Pa·s), ΔP : caída de presión (Pa) y $\alpha=1$ por ser régimen turbulento. Se consideró que las tuberías son de acero por lo que la rugosidad (ϵ) es 0,125, según la tabla 9 del apéndice (aparece en mm) y f es el factor de fricción haciendo uso de la figura 3,9 de (Rosabal y Valle, 2006) en función del Reynold (Re) y de ϵ/d_i , donde d_i es el diámetro interior (m).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de los resultados cuando las muestras de agua residual se colectaron con los aportes de hilo teñido, blanqueo, estampado y aguas albañales

En la Figura 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos. El comportamiento de los sólidos suspendidos volátiles (cuando se añade el CENTERFOOD XL a las aguas residuales) en el transcurso del tiempo, para el período estudiado, se ajusta a un polinomio de segundo grado, con un valor del coeficiente de regresión de 0,9012. El modelo permite predecir que al cabo de 15 días los SSV alcanzarán un valor de 3156,3 mg/L por lo cual a partir de esa fecha será necesario añadir nuevamente el nutriente si continúan paradas las plantas, donde las aguas provenientes de la sección de acabado son las que mayor carga orgánica aportan.

En el caso de los experimentos desarrollados para el sistema sin CENTERFOOD XL, el

comportamiento puede explicarse teniendo en cuenta que si la concentración de sustrato presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen el lodo, los microorganismos se ven obligados a funcionar en régimen de respiración endógena, donde se metaboliza un material citoplásmico rico en proteínas y ácido ribonucleico (ARN); el residuo está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que se resisten a la sedimentación.

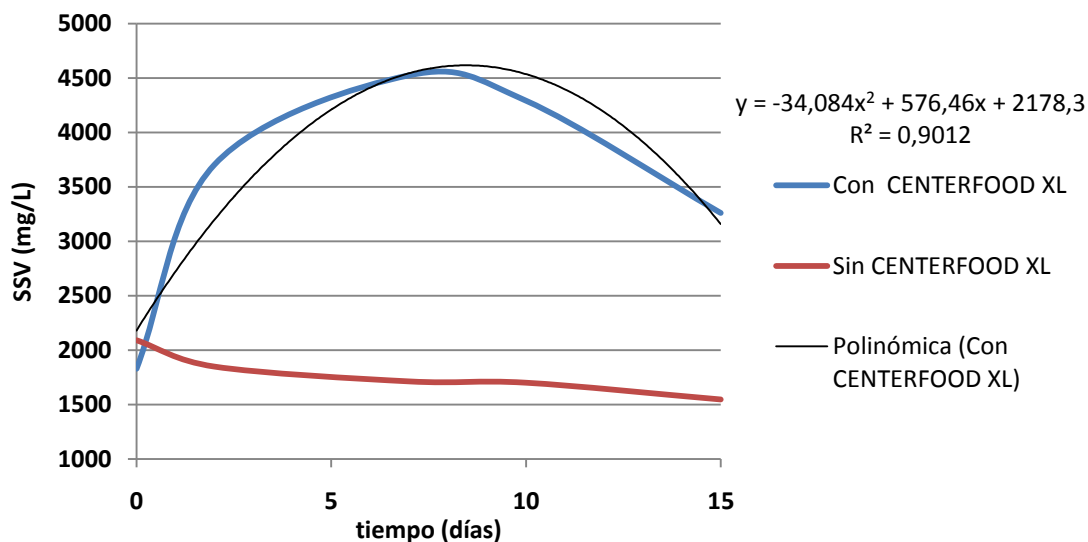


Figura 1. Comportamiento de los microorganismos (SSV) en el tiempo con y sin CENTERFOOD XL, con los aportes de hilo teñido, blanqueo, estampado y aguas albañales

El lodo presente en la UB “Desembarco del Granma” es un lodo envejecido. Este presenta un aspecto poco compacto por lo que es probable que existan microorganismos filamentosos. Los microorganismos filamentosos no se desarrollan ni crecen en lodos jóvenes; cuando la edad del lodo se incrementa, dichos microorganismos empiezan a desarrollarse dentro de las partículas del flóculo, según Coll (1980).

En el caso de los experimentos sin el aporte nutricional, a medida que transcurre el tiempo, estos van en descenso, lo cual se corresponde con lo expuesto anteriormente, no tienen medio de alimentación y por tanto se van agotando poco a poco.

Los resultados obtenidos para los sólidos suspendidos volátiles son inferiores al valor mínimo (3000 mg/L) recomendado por Díaz (2006) para los sistemas de tratamiento con lodos activados.

En el caso de los experimentos desarrollados con el CENTERFOOD XL, hay una tendencia a mantenerse y luego los microorganismos presentes comienzan a aumentar y posteriormente en el día 10 inicia su disminución, debido a que se consumieron los nutrientes y empieza entonces el proceso de respiración endógena.

En el periodo de tiempo en el cual se desarrollaron los experimentos, en el caso de los alimentados con CENTERFOOD XL, los niveles de sólidos suspendidos volátiles se mantienen por encima del límite inferior que es de 3000 mg/L, recomendado por Díaz (2006), por lo que con el tratamiento se logra que las aguas se viertan al cuerpo receptor con la calidad establecida (NC 27, 2012).

3.2. Análisis de los resultados cuando las muestras de agua residual se colectaron con los aportes de hilo teñido y aguas albañales

En la Figura 2 se muestran los resultados experimentales obtenidos. El comportamiento de los sólidos suspendidos volátiles (cuando se añade el CENTERFOOD XL a las aguas residuales) en el transcurso del tiempo, para el período estudiado, se ajusta a un polinomio de tercer grado, con un valor del coeficiente de regresión de 0,9378. El modelo permite predecir que al cabo de 15 días los SSV alcanzarán un valor de 3156,8 mg/L por lo cual a partir de esa fecha será necesario añadir nuevamente el nutriente si continúan paradas las plantas.

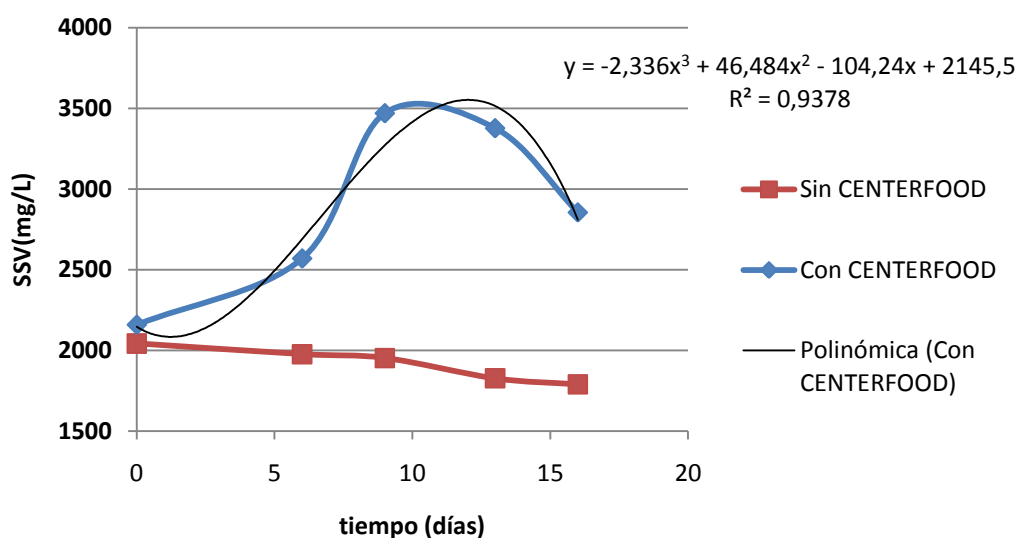


Figura 2. Comportamiento de los microorganismos (SSV) en el tiempo con y sin CENTERFOOD XL, con los aportes de hilo teñido y aguas albañales

La tendencia en el comportamiento de los microorganismos presentes es similar a la descrita para el caso de las aguas estudiadas con el aporte de hilo teñido, blanqueo, estampado y aguas albañales. En este caso se observa que los resultados de los sólidos suspendidos volátiles comienzan a disminuir en un periodo de tiempo ligeramente inferior al primer caso de estudio, debido a que se parte de condiciones iniciales diferentes (menor cantidad de plantas trabajando, lo que significa menor contenido de materia orgánica en el residual).

Mediante el empleo del software *Statgraphic* se obtuvo la ecuación 7, que muestra la dependencia entre las variables concentración de nutrientes (CENTERFOOD XL), tiempo y plantas de producción trabajando. Se puede determinar que al cabo de 15 días de estar sin trabajar las plantas de producción, si no se le añade nutriente, el valor de los SSV es de 1712,8 mg/L. Dicho valor resulta insuficiente para poder realizar un buen tratamiento de las aguas residuales que se generen al reiniciar la producción en las diferentes plantas. Al añadir el nutriente el valor predicho para los SSV (sin estar trabajando las plantas) es de 3068,25 mg/L. Esto corrobora la necesidad de añadir el nutriente para mantener la vitalidad del lodo.

$$SSV = 1348,52 + 1355,44 * \text{concentración de nutriente} + 146,436 * \text{plantas trabajando} + 21,88 * \text{tiempo} \quad (7)$$

3.3 Sistema de flujo para aplicación del CENTERFOOD XL

El sistema de flujo para la aplicación del nutriente biológico viene dado por un tanque de almacenamiento del producto, que puede encontrarse destapado, una bomba, una válvula de cuña, cuatro codos de 90° y una tubería de 12 m de longitud hasta el aireador. La cantidad de agua residual promedio que entra a la planta de tratamiento es de 1200 m³/d y cada un m³ de agua es necesario un kilogramo de producto, con una densidad correspondiente a 1064 kg/m³, serán necesarios 1,128 m³/d de CENTERFOOD XL, lo cual se dosificará cada 15 días si se requiere preservar el lodo con todas las plantas de producción paradas. Por tanto, se recomienda un flujo de 0,047 m³/h (se incorpora durante un día). En la tabla 3 aparecen reportados los valores considerados para la aplicación del balance de energía mecánica, se tuvo en cuenta que se trata de tanques abiertos a la atmósfera ($\Delta P= 0$) y que el eje de la bomba coincide con el plano de referencia ($Z_1= 0$).

Tabla 3. Valores para la aplicación del balance de energía mecánica.

$Z_1(m)$	$Z_2(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta P/\rho *g$	$\alpha *(\Delta V^2)/2 *g$	$h_{pt} (m)$
0	4,6	4,6	0	0,0012	0,253

Para determinar la carga de la bomba (H) se utilizó la ecuación 4. La carga de la bomba es $H= 4,85$ m y la potencia requerida es 0,00088 kW. La bomba presenta una potencia baja, esto se debe principalmente a la carga y el flujo. Según la tabla 4,20 reportada por Ulrich (1985) se escoge una bomba centrífuga de flujo axial de pequeña potencia, esta se corresponde con la capacidad determinada, posee buena eficiencia y su costo es bajo, además en cuanto a los servicios la categoría predominante es la A (excelente o sin limitaciones).

La cantidad de agua residual promedio que entra a la planta de tratamiento es de 1200 m³/d y cada un m³ de agua es necesario un kg de producto, con una densidad correspondiente a 1064 kg/m³, son necesarios 1,128 m³/d de CENTERFOOD XL, teniendo en cuenta un 20% de sobrediseño, se dimensionó el tanque de almacenamiento cilíndrico, considerando un volumen de 1,354 m³, según las ecuaciones 8, 9, 10 y 11.

$$V = Ab * h \tag{8}$$

$$Ab = \frac{\pi * d^2}{4} \tag{9}$$

$$Ab = \frac{V}{h} = \frac{1,354}{1,8} = 0,752 \text{ m}^2 \tag{10}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Ab}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,752}{3,1416}} = 0,979 \text{ m} \tag{11}$$

3.4 Determinación del costo de adquisición del equipamiento

Para la determinación del costo de adquisición del equipamiento para dosificar el CENTERFOOD XL, se obtuvieron los datos de costos a partir de lo reportado por (Peters y Timmerhaus, 1991), por lo que es necesaria su actualización a través de la ecuación 12, que aparece a continuación:

$$\text{Costo actual año 2018} = \frac{\text{índice de costo 2018}}{\text{índice de costo año de referencia}} * \text{Costo año referencia} \tag{12}$$

El índice del año de referencia (1991) es de 357,6 y el índice actual de 603,1 para el año 2018 (Chemical Engineering, 2018). La Tabla 4 muestra los costos de adquisición originales y actualizados.

Tabla 4. Costo de adquisición del equipamiento con los costos originales y actualizados

<i>Equipo</i>	<i>Dimensión característica</i>	<i>Costo de adquisición (\$) según (Peters y Timmerhaus, 1991)</i>	<i>Costo de adquisición total actualizado (\$)</i>
Tanque de almacenamiento de acero inoxidable	1,354 m ³	4700 Fig.14-56	7529,73
Bomba centrífuga de flujo axial	H=4,85 m 1,305E-05 m ³ /s	1035 Fig.14-40	1658
Tuberías	di=0,0125 m L=12m	31,5 Fig.14-6	50,39
Válvula de cuña	di=0,0125 m	70 Fig.14-28	112
Codos de 90 (6)	di=0,0125m	16,8 Fig.14-11	26,88
Costo total de adquisición(\$)			9377

3.5 Determinación del costo de inversión.

La estimación del costo total de inversión se realizó utilizando los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes a la tabla 17 de (Peters y Timmerhaus, 1991). A continuación se muestra la Tabla 5 con los resultados obtenidos.

Tabla 5. Factores de costo y cálculo del costo total de inversión

<i>Aspecto</i>	<i>%</i>	<i>Costo (\$)</i>
Costo de adquisición del equipamiento (CA), (\$)		9377,00
Instalación del equipamiento	47% CA	4407,19
Instalación de tuberías	66% CA	6188,82
Instrumentación y Controles (Instalados)	18% CA	1687,86
Instalaciones eléctricas	11% CA	1031,47
Edificación (incluye servicios)	18% CA	1687,86
Facilidades de servicio (Instalados)	70% CA	6563,90
Costos Directos (CD)		30944,10
Ingeniería y supervisión	33% CA	3094,41
Gastos de construcción	41% CA	3844,57
Costos Indirectos(CI)		6938,98
CI+CD		37883,08
Derecho de contrato	5% (CD + CI)	1894,15

Contingencia	10% (CD + CI)	3788,31
Costo fijo de inversión (CFI)		43565,54
Costo total de inversión (CTI)		51253,58

3.6 Costo del CENTERFOOD XL

Suponiendo que no exista ninguna producción, por lo que el sistema de tratamiento de residuales no reciba nuevos efluentes de las plantas, se mantendrá la vitalidad del lodo a partir de la aplicación del CENTERFOOD XL. Será necesario por tanto un flujo de 1,128 m³ de nutriente cada 15 días, un kg de producto tiene un precio de \$ 2,8, este volumen equivale a 1200,19 kg de CENTERFOOD XL, para un costo de \$ 3360,54 cada 15 días.

Los daños evitados con la aplicación de este nutriente biológico se asocian a la posibilidad de mantener la vitalidad del lodo empleado en la planta de tratamiento de residuales. El precio del agua que se adquiere para el sector textil es de 0,3 \$/m³, el volumen de agua que va a la planta de tratamiento es de 1200 m³/d, lo que significa un costo de 360 \$/d. Si esta agua es adecuadamente tratada recupera parcialmente su calidad y por tanto puede ser usada en el riego de determinados cultivos y a su vez se evita el daño que provoca su vertimiento a los cuerpos receptores aledaños a la empresa.

4. CONCLUSIONES

1. Es factible la adición de 1g de CENTERFOOD XL por litro de agua residual, como nutriente del sistema de lodos activados de la planta de tratamiento de la UB “Desembarco del Granma”, en caso de paradas hasta de quince días de las plantas de producción, ya que se mantienen los SSV por encima de 3000 mg/L.
2. El costo de inversión del sistema de flujo necesario para la aplicación del nutriente biológico CENTERFOOD XL es de \$51253,58.
3. Se requiere suministrar una cantidad de 1200,19 kg de CENTERFOOD XL cada quince días, para un costo de \$ 3360,54, cada vez que se aplique el nutriente biológico.

REFERENCIAS

- APHA., Standard methods for the examination of water and wastewater., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 21st edition, Public Health Association, Washington, USA, 2005, pp. 12-14.
- COLORCENTER CENTERFOOD XL., Nutriente biológico para depuradoras biológicas., España, 2016, pp. 1-2, Disponible en: <http://www.colorcenter.es>
- Chemical Engineering., Economics Indicators., Vol. 126, No. 12, December 2018, pp. 151-152.
- Chudoba, J., Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación de aguas residuales, Ciudad de La Habana, ISPJAE, 1986, pp. 20-22.
- Coll, L., La industria textil en los países en vías de industrialización. Perspectivas en el sistema mundial., Ciudad de México, 1980, pp. 32-34.
- Cruz, C.A., Adición de micronutrientes a un sistema de lodos activos como elementos

- potenciadores del proceso., Hidrología y Gestión del Agua Universidad de Cádiz: Fundación Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), 2011, pp. 12-16.
- Díaz, R., Tratamiento de aguas y aguas residuales., Segunda edición, Cuba, Ciudad de La Habana, Editorial Félix Varela, 2006, pp. 330- 342.
- Flores, M., Química Ambiental., Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN – Managua, Facultad regional Multidisciplinaria de Estelí, 2016, pp. 59-109.
- NC 27. 2012., Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2012, pp. 1-5.
- Peters, M., & Timmerhaus, K., Plant design and economics for Chemical Engineers., McGraw-Hill, USA, 1991, pp. 478-523.
- Rosabal, J., & Valle, M., Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas., Tomo I, Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 2006, pp. 100-101.
- Serrano, E., Folch, W., Triviño, R., Control de la deficiencia de nutrientes en un proceso de depuración biológica., Tecnología del agua, Vol. 265, No. 4, 2005, pp. 72-77.
- Ulrich, G., Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química., McGraw Hill, Primera edición, USA, 1985, pp. 228-229.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dra.C. Isabel Cabrera Estrada. Colaboró en el análisis y procesamiento de los resultados; realizó la escritura de una parte del artículo.
- M.Sc. Mercedes Arbona Cabrera. Colaboró en el análisis e interpretación de los resultados, así como realizó la escritura de una parte del artículo.
- M.Sc. María de los Ángeles García Hernández. Colaboró con las mediciones experimentales.
- Ing. Elizabeth González Cortés. Colaboró con la realización de los análisis de laboratorio y cálculos requeridos.