

***DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LOS
RESIDUALES LÍQUIDOS DE LA EMPRESA PESQUERA
INDUVILLA DE SANTA CLARA***

***LIQUID WASTE TREATMENT SYSTEM DESIGN FOR THE OF THE
INDUVILLA FISHING COMPANY OF SANTA CLARA***

Isabel Cabrera Estada^{1}, Dayami Valladares Aguilar², Luis Arturo Tejeda Lema³
y Mercedes Arbona Cabrera¹*

¹Departamento 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

²UEB INDUVILLA, Carretera de Sagua, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

³UEB Recapadora David Díaz Guadarrama. Carretera Central y Danielito Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Recibido: Diciembre 18, 2018; Revisado: Febrero 20, 2019; Aceptado: Abril 4, 2019

RESUMEN

El procesamiento del pescado requiere grandes cantidades de agua, la cual se emplea en el lavado de los equipos y la limpieza de la materia prima, además de servir como medio para el almacenamiento y la refrigeración antes y durante el procesamiento. La Unidad Empresarial de Base (UEB) "Induvilla", en Santa Clara, carece de un sistema adecuado para el tratamiento de los residuales líquidos que genera. Esta investigación tiene como finalidad proponer un sistema adecuado para el tratamiento de los residuales líquidos. Anualmente esta entidad tiene un consumo de 21 200 m³ de agua y genera 67,45 m³/día de residuales líquidos con alta carga contaminante. Los valores de DQO y DBO₅ determinados fueron 1 000 y 486 mg/L, respectivamente, los cuales incumplen la NC 27:2012. Por tal motivo se requiere la implementación de un sistema de lagunas anaerobia-facultativas para remover el 90% de la DBO₅, el sistema ocupará un área de 228,3 m². La instalación se pudiera realizar a 200 metros de la salida de los residuales del tanque séptico donde se cuenta con un terreno, de forma rectangular con un área de 160 x 500 metros. Para transportar el residual se utilizará una bomba SMF 200/2/2-80H A0CT-EX. La inversión total estimada para el sistema de tratamiento es de \$ 13749,83.

Palabras clave: aguas residuales; industria pesquera; lagunas.

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

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

ABSTRACT

Fish processing requires large amounts of water, which is used in equipment washing and in raw material cleaning. In addition water is used as storage and cooling mean before and during processing. The Business Unit of Base (UEB) "Induvilla", in Santa Clara, lacks of an adequate liquid residuals treatment system. The purpose of this research is to propose an adequate system for liquid residuals treatment. Annually this entity has a consumption of 21200 m³ of water and generates 67.45 m³ / day of liquid waste with high pollutant load. The values of COD and BOD⁵ determined were 1000 and 486 mg / L, respectively, which violate NC 27: 2012. For this reason, the implementation of an anaerobic-facultative lagoons system is required to remove 90% of the BOD₅, the system will occupy an area of 228.3 m². The installation could be carried out 200 meters from the outlet of the residuals from the septic tank where there is a terrain, rectangular with an area of 160 x 500 meters. To transport the waste, an SMF 200/2 / 2-80H A0CT-EX pump will be used. The total investment estimated for the treatment system is \$ 13749.83.

Keywords: wastewater; fishing industry; lagoons.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años, Cuba ha experimentado un notable desarrollo en la producción de peces de agua dulce, entre ellos principalmente tilapia, tenca, claria y carpa con promedios de cosecha en los últimos 10 años de aproximadamente 19 000 toneladas anuales (Pérez, 2018). Actualmente, la producción de alimentos constituye uno de los objetivos priorizados en los que se trabaja en todo el país, con el propósito de elevar la seguridad alimentaria de la población ya sea directamente en la producción de alimentos o indirectamente en la obtención de divisas que se invierten en este sentido.

El procesamiento del pescado requiere grandes cantidades de agua, principalmente destinada al lavado y la limpieza del mismo, además de servir como medio para el almacenamiento y la refrigeración del pescado antes y durante el procesamiento, Romero (2015). Asimismo, el agua es un lubricante importante y un medio de transporte en las diferentes etapas de manipulación y procesamiento a granel del pescado. Las aguas residuales procedentes del procesamiento de pescado tienen un alto contenido orgánico y por consiguiente una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO), debido a la presencia de sangre, tejidos y proteínas disueltas. Además, tiene un elevado contenido en nitrógeno (sobre todo cuando hay sangre presente) y fósforo.

También pueden estar presentes detergentes y desinfectantes en las corrientes de aguas residuales después de su aplicación durante las actividades de limpieza en las instalaciones. Para la limpieza se emplean diversas sustancias químicas, como detergentes ácidos, alcalinos y neutros y desinfectantes. Los desinfectantes usados con mayor frecuencia son los compuestos de cloro, peróxido de hidrógeno y formaldehído, Group (2007). Existe una normativa mundial elaborada por (Grupo del Banco Mundial, 2007), referida a los valores de los efluentes en el procesamiento de pescado y que está recogida en la guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento del pescado.

Los residuales líquidos generados en el proceso de elaboración de productos a base de pescado de agua dulce, por su elevada carga contaminante requieren de tratamientos que reduzcan su negativo impacto ambiental. En ocasiones estas aguas son vertidas directamente a ríos, alcantarillado o al mar ocasionando contaminación sobre estas fuentes receptoras, pero por lo general, se le realizan tratamientos más o menos sencillos en dependencia de los valores de contaminación de los efluentes, como pH, DQO, DBO, contenido de nitrógeno o fósforo, entre otros, Bueno (1997).

La relación entre la DBO₅ y la DQO indica la importancia de los vertidos industriales dentro de las aguas residuales y sus posibilidades de biodegradación. Así, si la relación DBO₅/DQO es inferior a 0,2, el agua es poco biodegradable, entre 0,2 y 0,4 es biodegradable y valores superiores a 0,4 indican aguas altamente biodegradables, Betancourt (2006).

El lagunaje es un método natural de tratamiento biológico, basado en los mismos principios por los que tienen lugar la autodepuración de ríos y lagos. Las lagunas de oxidación pueden emplearse como procesos primarios, secundarios o terciarios, Fair (1987). Su uso para el tratamiento de aguas residuales industriales (por ejemplo en refinerías de petróleo, lecherías, mataderos de aves, puercos y ganado) y mezcla de aguas residuales domésticas e industriales está muy extendido, Martínez (2007).

Las lagunas se suelen clasificar en dependencia de la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar, o de la presencia de oxígeno en: aeróbicas, facultativas, anaeróbicas, de maduración o terciarias. Las lagunas aerobias son grandes depósitos excavados en el terreno de poca profundidad. Se emplean en el tratamiento de agua residual por medio de procesos naturales, que incluyen el uso de bacterias y algas; presentan condiciones aerobias en toda su profundidad. La eficacia de estas lagunas en la eliminación de DBO₅ es alta, de hasta 95 %.

Las lagunas anaerobias se utilizan para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico, que también contenga una alta concentración de sólidos; son generalmente profundas, excavadas en el terreno y dotadas de un sistema de conducciones de entrada y salida adecuadas. Los residuos a tratar sedimentan en el fondo de la misma, y el efluente parcialmente clarificado se vierte a otro proceso posterior. Estas lagunas son anaerobias en toda su profundidad, excepto en una estrecha franja cercana a la superficie. Tienen una eficacia en eliminación de DBO₅ superior al 50%, en ocasiones se logra hasta un 85%.

En las lagunas facultativas la estabilización se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. Existen tres zonas; una superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica; una intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas; y una zona anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por la acción de las bacterias anaerobias. Se alimentan con residual de un proceso previo de desbaste o tratamiento primario, Cortés (2011). Las lagunas, como método de tratamiento de residuales líquidos, tienen entre sus ventajas la simplicidad de las mismas, ya que no se necesita de ningún equipo complicado, el nivel de tecnicidad es bajo y presentan requisitos de mantenimiento y costos de operación baratos; el consumo de energía es mínimo. Además ofrecen buena fiabilidad (tienen un buen poder para resistir a las sobrecargas

orgánicas e hidráulicas) y son eficientes porque producen resultados comparables a las plantas de tratamiento clásicas (lodos activados, filtros). La DBO del agua tratada es típicamente de 30 a 40 mg/L.

La Unidad Empresarial de Base (UEB) “Induvilla”, es una entidad perteneciente a la Empresa Pesquera de Villa Clara (PESCAVILLA), subordinada al Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA). Su objeto social es la industrialización y comercialización de productos de pescados a partir de la acuicultura, como son la tenca, la tilapia y la claria. La UEB “Induvilla” carece de un sistema para el tratamiento de los residuales líquidos que genera, de ahí que se requiere la caracterización de los mismos y el diseño de un sistema de tratamiento que permita reducir el impacto negativo que dichos residuales provocan sobre el medioambiente. Esta investigación tiene como objetivo proponer un sistema adecuado para el tratamiento de los residuales líquidos que genera la UEB “Induvilla”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diagrama en bloque de todo el proceso se muestra en la Figura 1, en la cual se reflejan las distintas etapas donde se generan aguas residuales. En el área integral donde se realiza la limpieza y cortes del pescado, se utilizan niveles elevados de agua, después de realizar los cortes, para eliminar sangre contenida y mantener las especies lo más frescas posible evitando la descomposición por bacterias y hongos.

2.1 Caracterización de los Residuales

En el tanque séptico se mezclan los residuales provenientes del área integral con los efluentes del área de conformado, es un punto de unión de ambas corrientes, antes de ser vertidas al medio receptor. Los valores determinados en la caracterización de la corriente de salida del tanque séptico contribuyeron a la ejecución de los balances y el diseño del sistema de tratamiento. Para ello se requirieron datos de los residuales por los ensayos físico-químicos y bacteriológicos realizados al agua potable y residual de la empresa en marzo del año 2017. Los procedimientos analíticos utilizados para los análisis de las aguas residuales, así como la simbología y unidades de medición, se corresponden con lo establecido (American Public Health Association, 1995) en “Standard Methods for Water and Wastewater Examination” y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas.

2.2 Balances de materiales

En la empresa pesquera Induvilla de la ciudad de Santa Clara no se cuenta con la información del flujo del agua que se vierte en los residuales. Para esto se procedió a realizar un balance de agua. Se tomaron los valores del consumo diario de agua y con ellos se obtuvo el consumo anual de agua en la empresa. Para determinar la cantidad de agua que no se vierte a los residuales, o sea, el agua que sale en cada uno de los productos se calculó según el porcentaje de agua empleado en la elaboración de cada uno (según receta), se trabajó en cada caso en base a una tonelada. La resta del consumo total menos el agua empleada en los productos da como resultado el flujo de agua residual. En el mismo está incluida el agua para la limpieza, puesto que el ambiente de

trabajo debe ser el más limpio posible, también se incluye el agua de la fábrica de hielo, los baños y el comedor.

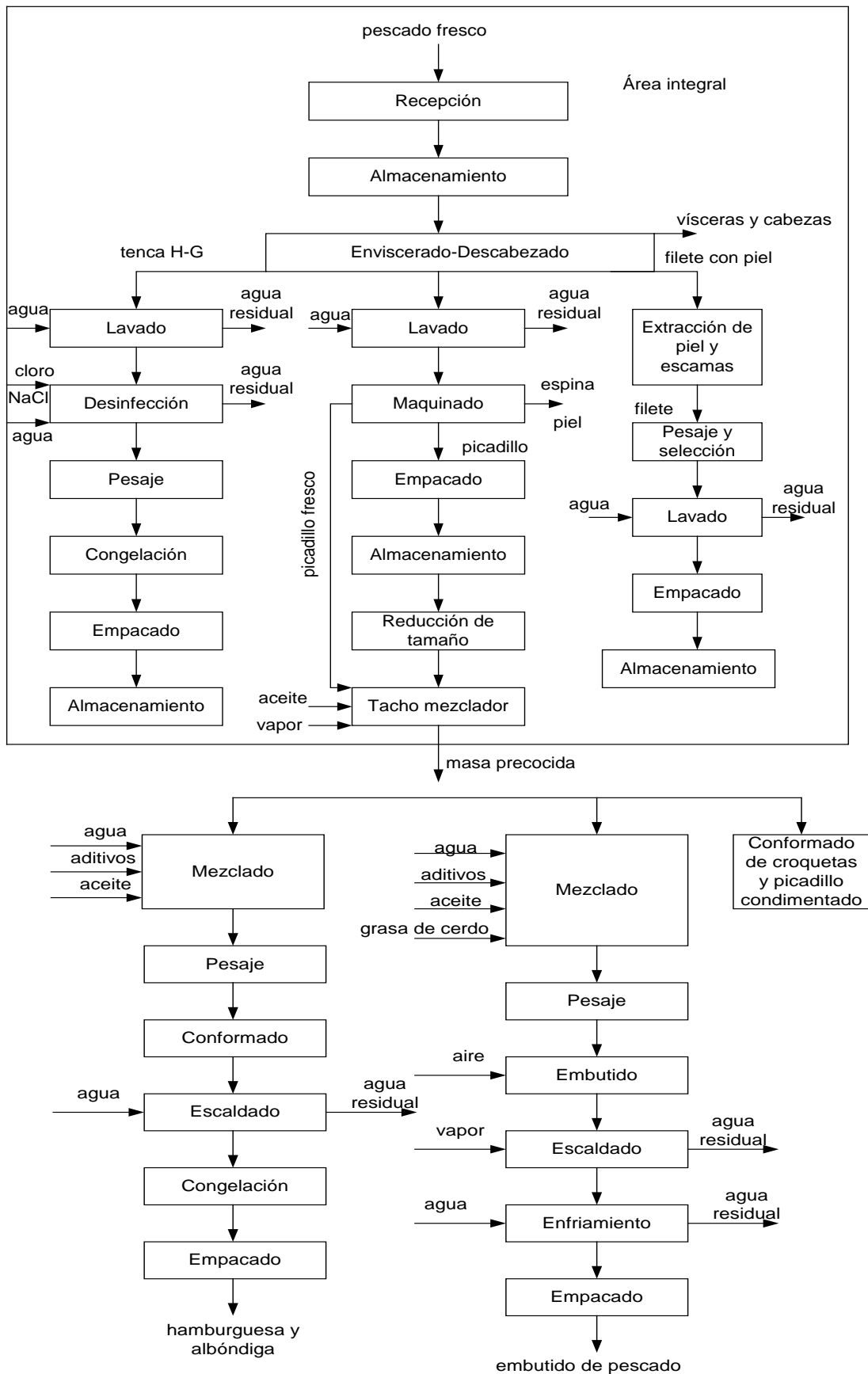


Figura 1. Diagrama de bloques de la entidad Induvilla

2.3 Cálculo de los parámetros de diseño/operación

Al evaluar la relación DBO₅/DQO de las aguas residuales de Induvilla, se obtuvo como resultado un valor de 0,49, lo que indica que es altamente biodegradable, por lo que se puede realizar un tratamiento biológico.

A continuación se realizó la propuesta de un sistema de tratamiento de residuales líquidos, utilizando el modelo de dimensionamiento adoptado en México por la Comisión Nacional del Agua (utiliza Marais y flujo disperso). El modelo propuesto por Marais supone mezcla instantánea entre el influente y el volumen total de la laguna. Esta suposición se debe a los altos volúmenes de las lagunas, el alto tiempo de retención y a la brisas, puesto que ha sido aplicado por industrias procesadoras de pescado de agua dulce cerca del golfo de México y cuenta con valores de temperatura cercanas a los de Cuba.

2.3.1. Diseño de la laguna anaerobia

En la Tabla 1 se muestran las ecuaciones empleadas para el diseño de la laguna anaerobia.

Tabla 1. Ecuaciones empleadas para el diseño de la laguna anaerobia

<i>Parámetro</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Simbología</i>
Carga orgánica (C _o)	$C_o = Q_i \times \frac{DBO_5}{1000} \quad (1)$	Q _i : Caudal de entrada (m ³ /d) DBO ₅ : Demanda química de oxígeno (mg/L)
Carga volumétrica de diseño (λ _v)	$\lambda_v = 20T - 100 \quad (2)$	λ _v : Carga orgánica volumétrica (g DBO _i /m ³ d). T: Temperatura mínima mensual del mes más frío (°C).
% de remoción de la DBO ₅	% de DBO removida = 2 × T + 20 (3)	T: Temperatura mínima mensual del mes más frío (°C).
Volumen de la laguna (V _a)	$V_a = \frac{L_i Q_i}{\lambda_v} \quad (4)$	L _i : Concentración de DBO ₅ del efluente (mg/L)
Área de la laguna (A)	$A = \frac{V_a}{H} \quad (5)$	H: Altura de la laguna (m)
Tiempo medio de retención hidráulico (θ)	$\theta = \frac{V_a}{Q_i} \quad (6)$	θ: El tiempo medio de retención hidráulico

2.3.2. Diseño de la laguna facultativa

En la Tabla 2 se muestran las ecuaciones empleadas para el diseño de la laguna facultativa.

Tabla 2. Ecuaciones empleadas para el diseño de la laguna facultativa

<i>Parámetro</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Simbología</i>
Carga orgánica superficial (BA)	$BA = 350 \times (1,107 - 0,002 \times T)^{T \times 25}$ (7)	BA g.m ⁻² .d ⁻¹ T: Temperatura de trabajo. (°C)
Área de superficie (As)	$As = \frac{So \times Qo}{BA}$ (8)	So: Concentración del afluente (DBO ₅) (mg/L) Qo: Caudal de entrada (m ³ /d)
Volumen efectivo (V)	$V = \frac{H}{3} \times (As + AF + \sqrt{AS \times AF})$ (9)	AF: área de fondo en m ²
Área del fondo (AF)	$AF = As - 29 \times P \times H(L + a) + (2 \times P \times H)^2$ (10)	P: Inclinación del talud (m) H: Profundidad de la laguna (m) L: Largo de la laguna (m) a: Ancho de la laguna (m)
Tiempo de retención (θ)	$\theta = \frac{V}{Q_o}$ (11)	Qo: Caudal de entrada en m ³ /d

2.4. Cálculo del sistema de flujo para bombear el agua residual

Se desarrolló el Balance de Energía Mecánica y se usó la ecuación de Bernoulli (Rosabal y Garcell, 2006)

$$H = \Delta z + \left(\frac{\alpha * V^2}{2 * g} \right) + \left(\frac{-\Delta P}{\rho * g} \right) + \left(\frac{f * L * V^2}{2 * d * g} \right) + \sum k_i * \frac{V^2}{2 * g} \quad (12)$$

Donde: H: carga de la bomba (m); ΔZ: diferencia de altura entre los puntos considerados (m); α= 1 por ser régimen turbulento; $\frac{V^2}{2 * g}$: carga de velocidad (m); $\frac{P}{\rho * g}$: altura o carga estática (m); $Re = \frac{\rho * V * d_i}{\mu}$

Re: número de Reynolds; ρ: densidad del fluido (kg/m³); μ: viscosidad del fluido (Pa*s); d_i: diámetro interior de la tubería (m).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra los resultados de los ensayos realizados al agua residual en la salida del tanque séptico, el que se encuentra a 18 metros en el costado lateral derecho del área integral. Los ensayos permitieron valorar el tratamiento a implementar.

Tabla 3. Comparación de las principales variables medidas al agua residual con la norma cubana y la guía elaborada por el Banco Mundial

<i>Parámetro</i>	<i>U.M</i>	<i>Valor (Residuales)</i>	<i>Valor (NC 27:2012)</i>	<i>Valor (Guía del Banco Mundial)</i>	<i>Valoración</i>
pH	U	6,74	6-9	6-9	Está dentro de los LMPP
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000	90	250	Está fuera de los LMPP
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	mg/L	486	40	50	Está fuera de los LMPP
Nitrógeno total	mg/L	6,8	10	10	Está dentro de los LMPP
Sólidos Sedimentables	ml/L	0,4	2	5	Está dentro de los LMPP
Conductividad eléctrica	μs/cm ²	1000	2000	-	Está dentro de la norma

Comparando estos resultados con los límites máximos permisibles (LMPP) que estipula la guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento del pescado de agua dulce, elaborada por el banco mundial (Group, 2007) y la norma cubana NC 27:2012: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, se puede llegar a la conclusión que los mismos no se encuentran dentro del límite máximo admisible en ninguna de las dos normativas. Es necesario aclarar que la guía elaborada por el banco mundial es más específica en cuanto a los residuales del procesamiento del pescado de agua dulce, la norma cubana es más general en este sentido.

Existen algunos valores que cumplen con la norma, aunque otros están muy por encima de los LMPP, estos son los de DQO y DBO₅, lo que es suficiente para decir que no se cumple con la norma. Ambos parámetros se utilizan para medir el grado de contaminación e indican que el residual es altamente contaminante afectando el cuerpo receptor, el cual es de clase B (Ríos y embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola, en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla agricultura), en este caso el río Arroyo Grande, el cual se dedica al regadío de cultivos que se encuentran dentro del plan Yabú. Es por ello que se hace necesario implementar un sistema de tratamiento de residuales que no afecte el entorno. Los resultados del balance de agua se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice de consumos de agua en base a una tonelada.

Consumo total anual de agua: 21200 m³					
Productos	Cantidad de producto (kg)	% de agua (según receta)	Cantidad de agua (L)	Producción anual (ton)	Consumo total de agua (m³)
Albóndigas y hamburguesas	1000	10,5	105	75,763	7,96
Croqueta	1000	33	330	835,14	275,60
Picadillo	1000	26	260	802,56	651,24
Embutidos	1000	15	150	196,30	29,45
Total	4000	84,50	845	1909,77	964,24
Metros cúbicos diarios a residuales (m ³ /d): 67,45					

Conocida la cantidad de agua residual a tratar, (67,45 m³/d) y la concentración de materia orgánica en términos de DQO se realizó el diseño del sistema de tratamiento. La propuesta resultó una laguna anaerobia seguida de una laguna facultativa, lo cual refleja un resultado similar a lo obtenido por Marín (2015).

Después de realizar los cálculos de ambas lagunas se logró una disminución de la DBO₅ en un 90%. Comparando los resultados con la normativa elaborada por el Banco Mundial se cumple con los valores, ya que la DBO a la salida es de 46,29 mg/L, inferior a los 50 mg/L establecidos, pero no se cumple con los valores de la norma cubana 27:2012 ya que no están por debajo de los 40 mg/L establecidos. En la Tabla 5 se expresa un resumen del resultado de los cálculos para ambas lagunas.

Tabla 5. Resultados de las principales variables calculadas en ambas lagunas

Parámetro	U.M	Resultados	
		Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa
Carga orgánica superficial	g.m ⁻² .d ⁻¹	32,8	42,4
Área de superficie	m ²	109,7	154,7
Volumen efectivo de la laguna	m ³	45,6	118,6
Tiempo de retención	días	2	2
DBO ₅ a la Salida	mg/L	97,2	46,3

Uno de los mayores problemas para implementar el diseño de las lagunas es el área disponible para su construcción. En este caso ambas requieren un área de 228,3 m². La UEB Induvilla no cuenta con terrenos cercanos en las que se pueda implementar dicho tratamiento. Las áreas próximas a la industria pertenecen a terrenos particulares, por lo que la instalación se pudiera realizar a 200 metros de la salida de residuales en la que se cuenta con un terreno, de forma regular que ocupa un área de 80 000 m².

Debido a la distancia existente entre la salida de los residuales y la posible ubicación de las lagunas es necesario el diseño del sistema de bombeo. Los parámetros fundamentales se muestran en la Tabla 6. Se requieren tuberías de 0,1 m de diámetro y con una longitud total de 200 metros.

Tabla 6. Resumen de las propiedades y parámetros de la bomba seleccionada para el sistema de bombeo

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Tipo de Bomba	SMF 200/2/2-80H A0CT-EX
Potencia	1,5 kW
Caudal máximo permitido	4 m ³ /h
Altura máxima permitida	13,2 m
rpm	2900
Tipo de Motor	Monofásico. Motor “antideflagrante” con dos cierres mecánicos
Voltaje	230 V

Según la potencia que reporta el catálogo, en este caso 1,5 kW/h, así como el flujo a bombear (2,81 m³/h) y la distancia (200 m), el costo de la inversión del sistema de bombeo es de \$ 4 076,97 y no representa un gasto excesivo de energía eléctrica (al año significa un gasto a la empresa de \$81).

El costo total estimado del sistema de lagunas (teniendo en cuenta lo que costaban en 1991 (Peters, 1991), según el volumen requerido, que era \$291,66 por metro cúbico y considerando el índice de costo original del año 1991 que era igual a 357,6 y el índice actual de 603,1 para el año 2018 (Chemical Engineering, 2018) se tiene:

$$164,2\text{m}^3 * \frac{\$291,66}{\text{m}^3} = \$47\ 891$$

$$\text{Costo actual} = \text{Costo original} * \left(\frac{\text{índice actual}}{\text{índice original}} \right) \quad (13)$$

$$\text{Costo actual} = \$80\ 769,16$$

La inversión total estimada es de \$ 80 769,16. Se considera que el sistema es implementable, dado el beneficio ambiental que producirá el tratamiento de los residuales, por concepto de daños evitados.

4. CONCLUSIONES

1. La UEB “Induvilla” tiene un consumo anual de 21 200 m³ de agua y genera 67,45 m³/día de residuales líquidos con alta carga contaminante, con un valor de DQO de 1 000 mg/L.
2. Se requiere la implementación de un sistema de lagunas anaerobia-facultativa para remover el 90 % de la DBO₅, lo cual requiere un área de 228,3 m².
3. El costo de la inversión para el sistema de tratamiento del agua residual mediante el empleo de lagunas es de \$ \$80769,16.

REFERENCIAS

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater., USA, Water Pollution Control Federation, 19th ed., New York, 1995, pp. 301-421.

- Betancourt, R., Tratamiento de aguas y aguas residuales., Ciudad de la Habana, Cuba, Editorial Félix Varela, 2006, pp. 368- 403, 404- 429.
- Bueno, J., Contaminación e Ingeniería Ambiental., Editorial FICYT, Oviedo, 1997, pp. 32-35.
- Cortés, F., Diseño de lagunas de estabilización en serie con diferentes configuraciones. (Caso Comarca Lagunera estado de Durango, México)., Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 5, No. 3, 2011, pp. 1-16.
- Chemical Engineering., Economic Indicators, Abril 2018, pp. 159-160
www.Chemengonline.com
<https://www.che.utah.edu/~ring/Design%20II/Homework/CEPCI-8-2018.pdf>
[Accedido diciembre de 2018].
- Fair, G., Purificación de Aguas y tratamiento y remoción de Aguas Residuales., Edición Revolucionaria, V-II, Parte II, 1987, pp. 570- 584, 603- 609.
- Grupo del Banco Mundial., Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento del pescado, 2007, pp. 10-12.
<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/4cbd33804885596f830cd36a6515bb18/0000199659ESes%2BFish%2BProcessing%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES> [Accedido febrero de 2018].
- Group, W., Environmental, Health and Safety Guidelines for Fish Processing., Available:
<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>, 2007, pp. 8-15. [Accedido febrero de 2018]
- Martínez, J., Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1997, pp. 30-32.
- Marín, J., Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos., Revista Ciencia e ingeniería Neogranadina, Vol. 25, No.1, 2015, pp. 27-29.
- Pérez, S., Dar vida a los peces de agua dulce., Periódico Granma, 1º de Febrero del 2018, pp. 7-8. Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2018-02-01/dar-vida-a-los-peces-de-agua-dulce-01-02-2018-00-02-16>
- Peters, M., and Timmerhaus, K., Plant design and economics for Chemical Engineers, McGraw-Hill, United State, 1991, pp. 805- 821.
- Romero, T., Evaluación del consumo de agua en las labores productivas de la industria pesquera., Revista RIHA, Vol. 36, No. 1, 2015, pp. 29-34.
- Rosabal, J., y Garcell, L., Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas., Tomo I, Segunda edición, La Habana, Editorial Félix Varela, 2006, pp. 98-105.