

III ENCUESTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Título: Evaluación de alternativas de tratamiento de residuales líquidos en la industria azucarera cubana

Temática a la que tributa el trabajo: IV Gestión ambiental desde iniciativas o proyectos para: La gestión sostenible de desechos líquidos

Autor (es): M. Sc. Ana Yilian Santana Mata; Dr. C. Milagros de la Caridad Mata Varela

Dirección de correo electrónico: aysantana@ucf.edu.cu

Entidad laboral de procedencia: Intermar S.A, Cienfuegos, Cuba

Resumen

El lento crecimiento económico mundial, las desigualdades sociales y la degradación ambiental son característicos de la realidad actual y constituyen desafíos para la comunidad internacional. El objetivo de desarrollo sostenible número seis de la Agenda 2030 propone, entre otros aspectos, aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y la calidad del agua además de reducir la contaminación y las emisiones de aguas residuales sin tratar. La industria azucarera enfrenta un importante reto ante los límites impuestos a la generación de residuales líquidos, condicionado por el volumen y composición de los mismos, que restringe su vertimiento directo y en muchos casos su empleo en fertiriego. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el sistema de residuales existente respecto a la tecnología Reactor de Flujo Ascendente (UASB), como alternativa, para lograr mayor eficiencia en el tratamiento y el reúso de los efluentes de la UEB Central Azucarero "5 de Septiembre". Se presenta el estado del arte relacionado con la conceptualización de la producción más limpia (PmL) así como sus principales regularidades y particularidades, unido al empleo de indicadores de rentabilidad económica, soportados en la estructura metodológica propuesta por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Los resultados obtenidos muestran una propuesta de inversión que incorpora beneficios potenciales a partir de la producción de nuevos productos, biol y energía eléctrica que demuestran su factibilidad económica.

Palabras clave: Evaluación, producción más limpia, innovación.

Abstract

Slow global economic growth, social inequalities and environmental degradation are characteristic of the current reality and constitute challenges for the international community. Sustainable development goal number six of the 2030 Agenda proposes, among other aspects, increasing the efficient use of water resources and water quality as well as reducing pollution and emissions of raw wastewater. The sugar industry faces an important challenge due to the limits imposed on the generation of liquid waste, conditioned by the volume and composition thereof, which restricts its direct discharge and in many cases its use in fertigation. The present work aims to analyze the existing waste system with respect to the Upward Flow Reactor (UASB) technology, as an alternative, to achieve greater efficiency in the treatment and reuse of the effluents of the



III ENCUESTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

UEB Central Azucarero "5 de September". The state of the art related to the conceptualization of cleaner production (PmL) as well as its main regularities and particularities is presented, together with the use of economic profitability indicators, supported by the methodological structure proposed by the United Nations Environment Program. Environment (UNEP). The results obtained show an investment proposal that incorporates potential benefits from the production of new products, biol and electrical energy that demonstrate its economic feasibility.

Key words: Evaluation, cleaner production, innovation.

Introducción

Desde mediados de los años ochenta del siglo pasado, las relaciones de las universidades con el entorno socioeconómico y su papel en el proceso de innovación ha sido un tema recurrente y, en general, tratado con más voluntarismo que conocimiento del fenómeno. Como consecuencia los logros obtenidos por las universidades en este campo son limitados.

La institucionalización de las relaciones de las universidades con el entorno socioeconómico es más fructífera cuando las universidades ganan prestigio en su ámbito geográfico de influencia, de forma tal que se genere una corriente de opinión entre los miembros de sus comunidades universitarias que dinamice actividades de I+D y de transferencia de conocimientos al entorno socioeconómico.

En este sentido, de acuerdo con las condiciones requeridas para aumentar los niveles de competitividad, la ciencia y la tecnología es concebida, como la base del cambio social y cultural que se requiere para lograr la convivencia social y una visión compartida del futuro que está en formación (Morales Rubiano, Sanabria Rangel, & Caballero Martínez, 2015).

Uno de los temas en los que las universidades aportan significativamente mayor competitividad a las organizaciones es en la conservación del medio ambiente que impone la preservación y buen uso de los recursos naturales con el empleo de producciones más limpias.

De forma especial el recurso agua es básico para los seres vivos. Los problemas relacionados con este recurso son reconocidos como la amenaza más seria e inmediata de la humanidad.

Al analizar el consumo mundial del agua por sectores de la economía, corresponde el primer lugar al agrícola con un 65%, seguido del industrial con el 25% y el consumo doméstico, comercial y de otros servicios urbanos es del 10%. En la última década según los reportes de Castellanos et al (2005) el consumo de agua ha aumentado a razón de uno a 1.5% por año, fundamentalmente en los países desarrollados (Castellanos et al., 2005). Dentro de la realidad antes mencionada se destaca los grandes volúmenes de agua que demanda el desarrollo de los procesos productivos, haciendo imprescindible su uso racional y adecuado que requiere, además, de un manejo eficiente para lograr el mínimo impacto al medio ambiente.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

De modo particular, la industria y dentro de ella, la azucarera, constituye una de las mayores consumidoras de agua, y a su vez alta generadora de desechos al medio ambiente, con valores máximos en el orden de los 141kg/t de caña molida.

El vertimiento o disposición final de residuos en el medio ambiente requiere de una adecuada atención para evitar la contaminación de diversos ecosistemas y recursos naturales asociados, por lo que los sistemas de tratamiento de residuales no pueden verse aislados de la opción requerida para el vertimiento de sus efluentes líquidos y sólidos (Arrazola, 2015).

Las aguas residuales generadas por la industria azucarera y sus derivados se caracterizan por contener materia orgánica y nutriente, lo que las convierte en fuente de fertilizantes naturales para diferentes cultivos al emplearlas en el riego u otras alternativas.

Así mismo, los vertimientos industriales pueden ser tratados con tecnología anaerobia, especialmente de tipo UASB, que tienen como ventajas la producción del gas metano como fuente energética. Un uso potencial del biogás en países en desarrollo como Ecuador está dirigido, precisamente, al reemplazo del consumo de gas licuado del petróleo (Camilo, Ann, & Wilkie, 2010).

En América Latina y según Beteta (1996), Vega (2000), Kaiser *et al.* (2002), Campero (2008) y el Ministerio del Ambiente (2015) se reporta la construcción de biodigestores en Colombia, Perú, Bolivia, México, Nicaragua, Ecuador y Costa Rica. No obstante, también en Europa se ha incrementado la producción de biogás anual en niveles importantes como son Alemania, Inglaterra, Dinamarca, Italia, Francia, Grecia, Austria, Bélgica, principalmente con fines de producción de electricidad y calor.

El presente trabajo realiza una evaluación económica de alternativas de inversión que aseguren el cumplimiento de los parámetros norma a lograr de sus efluentes, y aprovechar su reúso en las áreas productivas, reducir el consumo de agua por concepto de riego y mejorar los rendimientos cañeros de sus plantaciones.

Desarrollo

Se desarrolló una investigación no experimental, durante los años 2007 al 2014. Se tuvo en consideración referentes teóricos internacionales y nacionales relacionados con esta temática especialmente la metodología del PNUMA (ONUDI, 1999), (CNP+LH, 2009) además de los referentes prácticos desarrollados desde el año 2009 al 2012 (García, 2009) y (Socorro, 2012) en la UEB Central Azucarero “5 de septiembre”.

La metodología del PNUMA (ONUDI, 1999) consta de cuatro fases, dígase, planeamiento, evaluación de la planta, estudio de factibilidad e implementación (ONUDI, 1999) (GTZ, 2007).

En la segunda fase, evaluación de la planta, se realizó un diagnóstico que incluyó el sistema de tratamiento, se trabajó con los volúmenes de aguas residuales por actividad dentro del proceso productivo, dígase, planta moledora, purificación, clarificador, evaporación, cristalización y centrifugación.

En la fase de estudio de factibilidad se cuantificaron indicadores de eficiencia económica para la opción de inversión propuesta. Durante la evaluación económica



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

se determinaron los indicadores del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRD).

El costo de la inversión se determinó a partir del presupuesto requerido y los ingresos incluyen la venta de biol y energía eléctrica.

El capital de trabajo necesario se planificó a partir del método de rubro a rubro. Para el cálculo de los costos de operación, se incluyeron las partidas de mantenimiento, fuerza de trabajo y depreciación con el empleo del método de línea recta para esta última.

Así mismo, para lograr la homogenización temporal de las alternativas ex post y ex ante se emplea el método de vida común o cadena de reemplazo.

Para estimar la venta de energía eléctrica, es necesario tener información acerca del volumen de biogás producido para determinar el potencial eléctrico neto, mediante la expresión:

Potencial eléctrico neto = $V \cdot P \cdot E$ donde:

- V: Volumen de biogás (m^3/h)
- P: Potencial energético de $1 m^3$ de biogás (kWh/m^3)
- E: Eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna (%)

La evaluación de los riesgos se realiza a partir de la identificaron las posibles variables que podrían causar una variación en la rentabilidad del proyecto, dígame, días de zafra de la UEB Central Azucarero 5 de Septiembre, producción de biogás, contenido de metano en el biogás y eficiencia eléctrica del motogenerador. Se conformaron tres escenarios (bajo, medio y alto) a los que se le asoció una probabilidad de ocurrencia por alternativas de inversión.

Los valores de estas variables se modificaron según el escenario evaluado, información obtenida de la bibliografía consultada, opinión de expertos e informes históricos de la UEB Central Azucarero 5 de Septiembre (tabla 1). En el caso de la segunda alternativa la variable: Eficiencia eléctrica del motogenerador no se incluyó en el análisis de riesgo.

Tabla 1: Valores de las diferentes variables de riesgo para cada escenario.

Variables	Bajo	Medio	Alto
Días de zafra de la UEB (d)	40	90	140
Producción de biogás (L/L.d)	1.50	3	4.66
Contenido de metano en el biogás (%)	45	75	89
Eficiencia eléctrica del motogenerador (%)	33	36	39

Fuente: Elaborado a partir de bibliografía consultada, opinión de expertos e informes históricos de la UEB.

Las probabilidades de ocurrencia por escenario y alternativas se muestran en la tabla 2, siendo el escenario más probable el medio.



**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Tabla 2: Probabilidades de ocurrencia por escenario para cada una de las alternativas de inversión.

Escenario	Alternativa 1	Alternativa 2
Bajo	15%	16.7%
Medio	67.5%	66.6%
Alto	17.5%	16.7%

Fuente: Elaborado a partir de criterios de expertos.

- Principales resultados

La UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” cuenta con un sistema de tratamiento para los residuales líquidos compuesto por tres lagunas (aeróbica, facultativa y un embalse regulador). En el año 2009 se realizó un estudio cuyo objetivo fue evaluar la factibilidad económica de su rehabilitación que incluyó la construcción de la conductora de residuales de la industria hasta las lagunas.

La autora García (2009) realizó un diagnóstico por categorías de impacto ambiental: eco-toxicidad, eutrofización, calentamiento global, efecto invernadero y toxicidad humana. Como resultado del mismo se determinó la necesidad de cambiar el flujo final de los residuales líquidos, para utilizarlos en el fertiriego de las plantaciones cañeras aledañas a la industria, y de esta forma reducir la eutrofización y ecotoxicidad al ser devueltos al suelo en lugar de a cuerpos receptores acuáticos.

De forma real el proyecto inició sus operaciones en el mes de octubre de 2010. Las partidas principales que integraron el costo de inversión fueron la rehabilitación de las lagunas de oxidación, construcción y montaje de las tuberías de conducción de residuales y construcción de una trampa de sólidos a la salida del central. La empresa contratada para desarrollar estas actividades fue la Empresa de Construcción y Montaje Agroindustrial de Cienfuegos (ECMAIC). Los gastos de investigación y desarrollo fueron valorados en \$362 746.70, e incluyeron los servicios prestados por el Instituto de Proyectos Azucareros (IPROYAZ) y otros gastos vinculados al proyecto.

Con la evaluación ex post realizada a la intervención se evidenció que las partidas de rehabilitación de las lagunas de oxidación fueron ejecutadas con un costo mayor al planificado en un 173.5%. Existe además subcosteo en varias partidas, dígame, construcción y montaje de las tuberías de conducción de residuales, gastos de investigación y desarrollo, y otros gastos; con un valor total de \$37 805.77. En sentido general el proyecto tuvo una sub-asignación de recursos valorada en \$141 665.95, condicionada por la no ejecución de objetos de obras declarados en el expediente original del proyecto como es el caso de la trampa de sólidos y el capital de trabajo necesario que fue cubierto a partir de los gastos corrientes del período. El presupuesto asignado fue solamente de \$ 221 080.75, cifra que fue reajustada entre los objetos de obra ejecutados.

Se consideró como inicio del horizonte de planificación el año 2008, comenzando realmente en el año 2009, momento en que se ejecutan la solicitud de préstamos, contratos de los equipamientos, construcción y montaje, así como el resto de los



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

trabajos requeridos para la puesta en marcha de la inversión. La construcción y montaje de la tubería conductora no se realizó en el tiempo previsto, ocurriendo una prolongación temporal del 60 % y de forma total del 25 %.

El proyecto recibió financiamiento por valor de \$221 080.75, (61% de lo planificado), por cinco años y con una tasa del 3.62 %.

Las entradas planificadas sufren profundas desviaciones producto de no aplicarse el fertiriego a las plantaciones cañeras aledañas al central, las mismas fueron destinadas a la siembra de cultivos varios. Por tanto se pierden los ingresos proyectados por ahorro de fertilizantes y agua, y el incremento de producción previsto, como resultados de los beneficios de la utilización del fertiriego.

Así mismo, los resultados obtenidos con el cálculo de las técnicas dinámicas (VAN, TIR, IR y PRD) muestran valores negativos en todos los casos durante la evaluación ex post realizada (figura 1). El período de recuperación de la inversión se proyectó para 3.40 años, pero en la realidad al momento de la evaluación no se había amortizado el desembolso inicial.

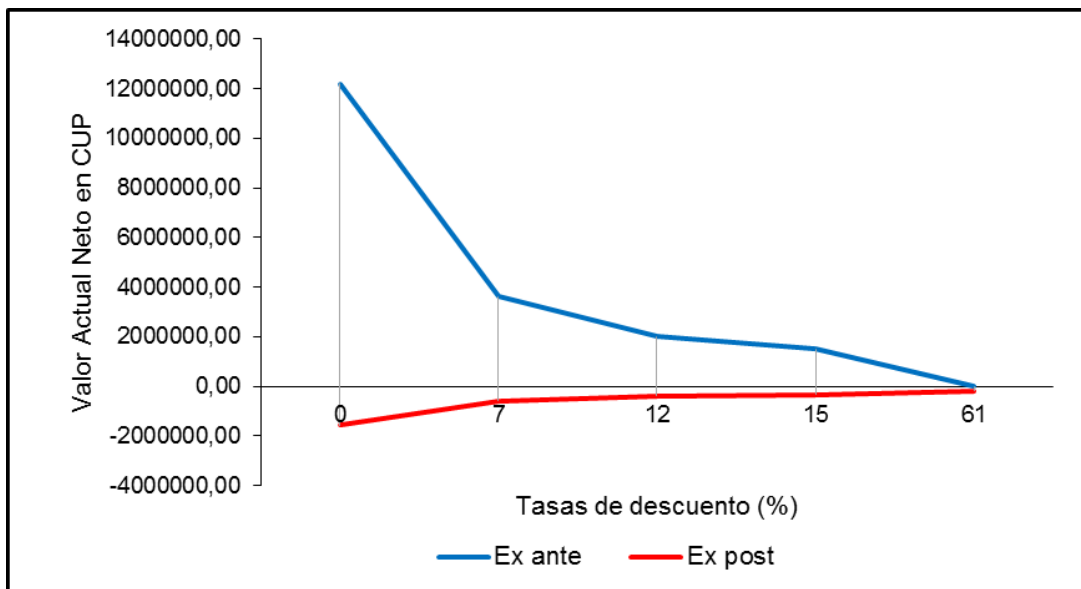


Figura 1. Comparación del Valor Actual Neto (VAN) entre la evaluación ex ante y ex post. Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos.

- Evaluación ex ante de la nueva propuesta de inversión con un reactor UASB

Ante los problemas del sistema de tratamiento existente se valora la alternativa de tratar previamente las aguas residuales de la industria en un reactor UASB para proseguir luego a las lagunas, esto permitiría un tratamiento más completo, que reduce la contaminación y entrega además dos productos para la comercialización: biol y energía eléctrica a partir del biogás producido.

El análisis se realizó a partir de dos opciones: la primera incluye el tratamiento de las aguas residuales en un reactor UASB con la obtención del biol como producto y la

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

utilización del biogás resultante en la generación de electricidad, la segunda alternativa no incluye la generación de energía eléctrica.

Para la evaluación de la propuesta se tuvo como antecedente los resultados obtenidos por Hampannavar y Shivayogimath (2010) en la India, en el tratamiento de las aguas residuales de la industria azucarera en un reactor UASB a escala de laboratorio, cuyos resultados mostraron una eficiencia de remoción de la DQO del 89 %, una máxima producción volumétrica de biogás de 4.66 L/L.d para una carga orgánica de 16 g de DQO/L.d, con un porcentaje de metano mayor al 75 %.

La inversión se planificó para una vida útil de 20 años, tiempo que especifica la literatura para este tipo de reactores. Las estimaciones del volumen de agua residual a tratar, se proyectó a partir de la capacidad de molienda industrial (4600 toneladas de caña por día) con un aumento planificado entre los años 2016 al 2024 según especifica la Empresa Azucarera Cienfuegos en su Estrategia para la UEB Central Azucarero "5 de Septiembre".

Se tomó como año cero de la inversión el 2019 con una vida útil de veinte; a partir del año 2025 se utilizó como norma potencial 8000 t/d. El volumen de agua residual se estimó en función de las toneladas de caña molida ($0.517 \text{ m}^3/\text{t}$) y utilizando la norma potencial para cada año. Para el cálculo del volumen de biogás se consideró como valor medio tres litros de biogás por cada litro de agua residual por día.

Así mismo, en la primera alternativa de inversión el costo inicial aumenta al incluir el motogenerador, en su selección se tuvieron en cuenta tres diseños, de los más utilizados en el mundo: motores de combustión interna (moto generadores), turbinas de gas y micro turbinas. Después del estudio comparativo la primera resultó ser la más adecuada entre todas, condicionado entre otros factores por su capacidad de producción de biogás y de energética superior a $8 \text{ m}^3/\text{min}$ de biogás y de 800 kW y 3MW de energía eléctrica.

▪ Costo de la Inversión

Las partidas que conformaron el costo de la inversión fueron: construcción del reactor, capacitación del personal, diseño (gastos de I+D), capital de trabajo necesario, imprevistos y moto generador (presente solamente en la primera alternativa). Los valores estimados fueron de \$5 349 269.29 para la primera alternativa y de \$4 082 936.17 para la segunda.

Los cálculos de la rentabilidad económica de las alternativas de inversión se presentan en moneda total (MT). El costo del reactor se estimó con base al caudal de entrada, con un valor de construcción de 957 400.00 USD¹ y los imprevistos representan el 10% del costo de la inversión.

El costo del moto generador incluye el valor del equipo más los gastos de mano de obra, instalación a la red eléctrica e ingeniería, se estimaron a partir de los criterios de Blanco y otros (2017):

- El costo del equipo es de 700 USD por kW,

¹ Según Fernández-Polanco y Seghezzeo (2015), se estima que un caudal de 55.2 L/s tenga un costo de 1104000 USD



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

- El moto generador recibe un tratamiento diferenciado a saber: se recomienda la compra de un moto generador de 1000 kW en los primeros cuatro años de vida del proyecto, para después realizar la compra de un segundo con capacidad de 500 kW para hacer frente a la creciente potencia eléctrica disponible en los próximos años de vida del proyecto.
 - La mano de obra se estimó como el 8 % del costo total,
 - Los costos de ingeniería representan el 15 % de la inversión neta.
 - Los costos de instalación a la red eléctrica se proyectaron en 37000 USD/ km de línea instalada y 10000 USD por cada 300 kW instalados.
- Salidas anuales del proyecto

Las salidas por alternativas están integradas por: salario del operario (reactor y el moto generador), variación del capital de trabajo, segundo motogenerador (solo en la primera alternativa), depreciación, y costos de operación y mantenimiento. Las figuras 2 y 3 muestran la estructura de los costos de operación por alternativa de inversión.

Así mismo, el salario del operario se estimó en 700 CUP mensuales, de igual manera los costos de operación y mantenimiento asociados al reactor son de 28722 USD al año, con base a los criterios de Fernández y Seghezzeo (2015).

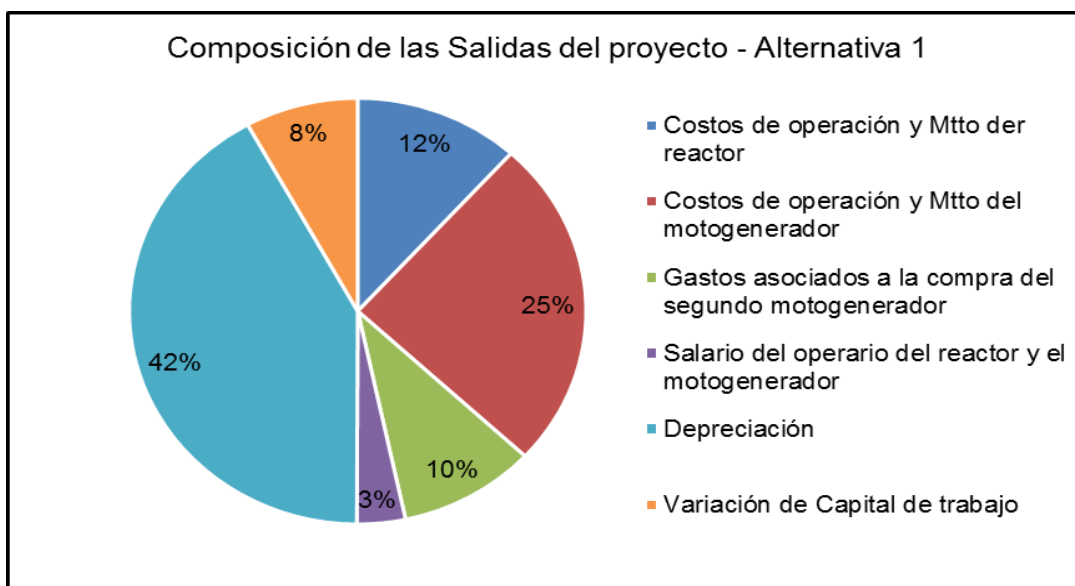


Figura 2: Partidas que componen las salidas anuales del proyecto para alternativa 1. Fuente: Elaboración propia.

**III ENCUESTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

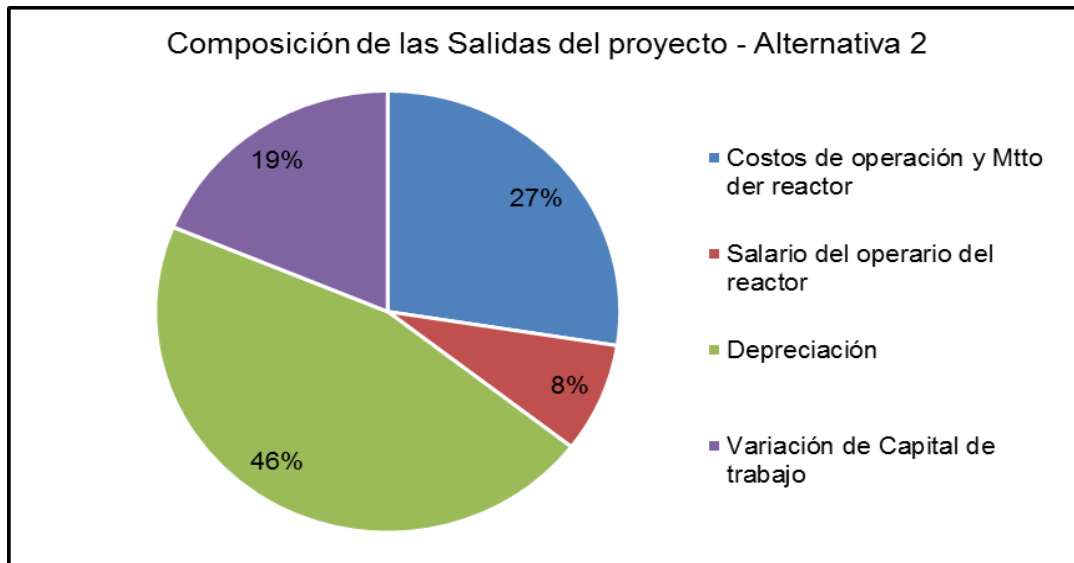


Figura 3: Partidas que componen las salidas anuales del proyecto para alternativa 2. Fuente: Elaboración propia.

Los costos de mantenimiento y operación del moto generador están integrados por los costos variables de la instalación eléctrica y los costos variables del equipo, calculándose los últimos en base a la capacidad instalada. Los autores Blanco y otros (2017), estiman los costos de instalación en 12 500 USD por año por cada 300 kW instalado, y en el segundo caso en 3 350 USD al año. Para la primera alternativa, se han estimado en 12 % y 25 % respectivamente. Los gastos de compra del segundo moto generador incluyen el valor del equipo, conexión a la red eléctrica, mano de obra e ingeniería, la valoración de los dos primeros se realiza a partir de la capacidad a instalar, y los dos últimos representan el 8 % y el 15 % respectivamente del monto total.

▪ Entradas anuales del proyecto

Las entradas son por la venta de biol y energía eléctrica solo para la primera alternativa. Las estimaciones diarias de biol se fundamentan según los criterios de García (2009), que afirma que del total de aguas residuales que sale de la industria y entran al sistema de lagunajes, sólo el 85% sale para ser vertida al medio, se utilizó un precio para el metro cubico de efluente líquido de 50 CUP según criterio de Guzmán (2014).

Para estimar la venta de energía eléctrica, es necesario tener información acerca del volumen de biogás producido. Para los autores Hampannavar y Shivayogimath (2010) un metro cúbico de biogás contiene aproximadamente 75% de metano; y si el valor calorífico del mismo es de 10 kWh/m³ se obtiene que el potencial energético de 1 m³ de biogás será igual a:

$75\% * \frac{10\text{kWh}}{\text{m}^3} = 7.5 \text{ kWh/m}^3$. Para obtener la potencia eléctrica neta, se multiplica el volumen anual de biogás con el potencial energético del biogás, teniendo en cuenta que la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna es del 36 % como promedio. Las entradas anuales por venta de energía eléctrica se estiman para un precio de 0.09

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

CUP/kWh. De forma general los flujos de caja para la primera alternativa son mayores que para la segunda (figura 4).

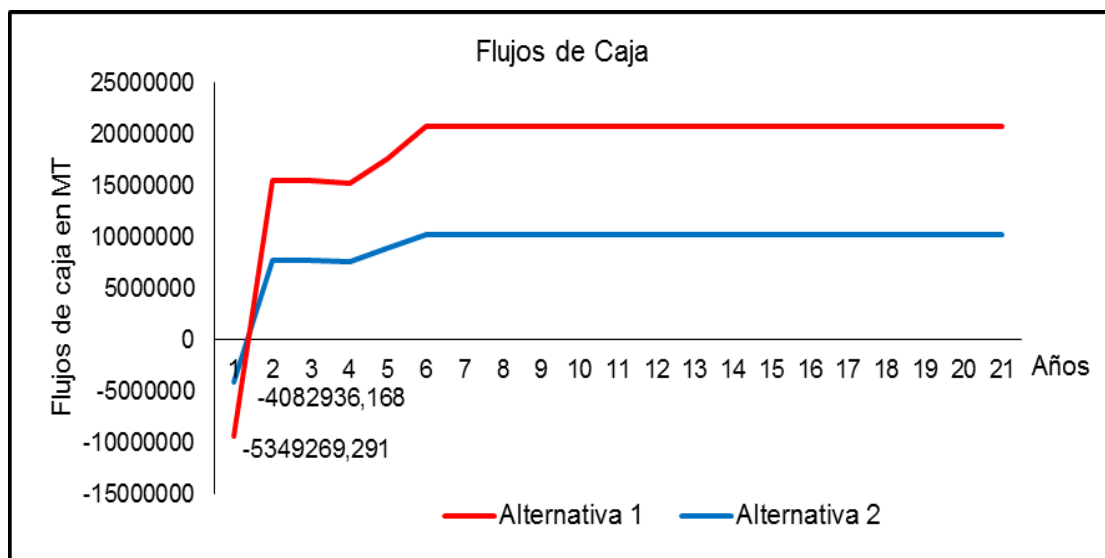


Figura 7: Comportamiento de los flujos de caja para ambas alternativas en MT. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos por alternativa muestran un proyecto rentable con una TIR de 148% en el primer caso y de 190% para el segundo. El Índice de rentabilidad (IR) se mueve en el intervalo (10.88; 19.10) en la primera alternativa y de (14.09 a 24.72) para la segunda. El período de recuperación de la inversión más tardío sucede a los 0.61 años bajo una tasa del 15% en la segunda alternativa, por lo que el proyecto presenta una excelente recuperación de la inversión inicial.

- Evaluación del riesgo del proyecto

La evaluación del riesgo para la primera alternativa mostró tasas ajustadas inferiores a la TIR del proyecto en cada uno de los escenarios proyectados, así como un riesgo bajo en todos los casos, los indicadores presentaron el mismo comportamiento para la segunda alternativa. Estos resultados significan que aunque el proyecto presenta riesgo, este no afecta la rentabilidad del mismo, por lo que el proyecto continúa siendo atractivo.

- Otras consideraciones

Además de las entradas declaradas en el proyecto se deberán tener en consideración aquellas que por no tener acceso a la información, no pudieron ser cuantificadas, pero que sin lugar a dudas constituyen ahorros para la entidad en materia de economía ecológica. Estas son:

- Dejar de emitir gases a la atmósfera.
- Dejar de contaminar la flora y la fauna con un vertimiento dentro de las normas establecidas.
- Dejar de contaminar el suelo y el agua con vertimientos fuera de norma.

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Otros conceptos de entradas para el proyecto podrían ser: ahorro de fertilizantes, ahorro de agua e incremento de la producción, todos estos asociados a la utilización del efluente líquido obtenido en el fertiriego de las plantaciones cañeras del central.

Conclusiones

- Las aguas residuales generadas por la industria en la UEB Central “5 de Septiembre” se caracterizan por presentar valores de pH bajos (5.8 como promedio) y cifras extremadamente altos de DQO y DBO₅ como promedio por zafra, dígase, 4357.67mg/l en el primer caso y 5327mg/l para el segundo.
- La evaluación económica financiera de forma ex post realizada al sistema de lagunaje existente demostró la ineficiencia del mismo durante los ocho primeros años de funcionamiento de veinte planificados sin apreciarse perspectivas de mejora.
- La propuesta de inversión de PmL para tratar previamente las aguas residuales de la industria a través de un reactor UASB demostró la factibilidad económica del sistema, además de incorporar beneficios potenciales al proceso con la producción de nuevos productos.

Bibliografía o referencias bibliográficas

- Arrazola, C. (2015). El control de los vertidos de las aguas residuales. *iAgua*. Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/carlos-arrazola/control-vertidos-aguas-residuales>
- Castellanos, J. A., González, F. & Puerta, J. F. (2005) El consumo de agua en la industria azucarera como un problema energético y medio ambiental. Centro Azúcar. 2005 ed.
- Colciencias (2006). 75 maneras de generar conocimiento en Colombia. Bogotá: Colciencias.
- Dunand, R. & colaboradores (2007) El tratamiento magnético y la disminución de residuales líquidos contaminantes en la industria azucarera. . II Conferencia internacional de electromagnetismo aplicado (CNEA). ICINAZ.
- García, D. (2009). *Aplicación de un procedimiento para la evaluación de inversiones dirigidas a la rehabilitación del Sistema de Tratamiento de Residuales Líquidos en la Empresa Azucarera 5 de septiembre*. (Tesis de diploma en Contabilidad y finanzas). Universidad de Cienfuegos.
- Guzmán, E. (2014). *Evaluación Ex ante del proyecto Tratamiento de residuales con fines productivos en la Empresa Genético Porcina Cienfuegos*. (Tesis de diploma). Universidad de Cienfuegos.
- Hampannavar, U. S., & Shivayogimath, C. B. (2010). Anaerobic treatment of sugar industry wastewater by upflow anaerobic sludge blanket reactor at ambient temperature. *International Journal of Environmental Sciences*.
- Morales Rubiano, M. E., Sanabria Rangel, P. E., & Caballero Martínez, D. (2015). Características de la vinculación universidad- entorno. *Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y reflexión*, 191.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

- ONU. Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial . (1999). Manual de producción más limpia. 17 páginas.
- Oña, V. (2013). *Gestión y tratamiento de aguas en la UEB Central Azucarero "Héctor Rodríguez"*. (Tesis de maestría en Ingeniería en Saneamiento Ambiental). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Socorro, B. M (2012). *Aplicación de un Procedimiento para la evaluación Ex post del Sistema de Tratamiento de Residuales Líquidos en la UEB Central Azucarero 5 de Septiembre*. (Tesis de diploma en Contabilidad y finanzas). Universidad de Cienfuegos.
- Vega, M. L., Iribarnegaray, M. A., Hernández, M. E., & Arzeno, J. (2015). Un nuevo método para la evaluación de la sustentabilidad agropecuaria en la provincia de Salta, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 41(2), 168-178.

