

Maestría en "Producción más Limpia"

FACULTAD DE INGENIERÍA

Trabajo presentado como requisito para optar al grado de
Máster en Producción más Limpia

Tratamiento de residuales con reactor UASB como opción de
producción más limpia en la industria azucarera cubana. Caso
de Estudio UEB Central Azucarero "5 de Septiembre".

*Autor(a): Lic. Ana Yilian Santana Mata
Tutores: DrC. Nelson Castro Perdomo
DrC. Milagros de la C. Mata Varela*

Curso 2018 - 2019



Hago constar que la presente Memoria Escrita en opción al grado de Máster en Producción Más Limpia fue realizada en la Universidad de Cienfuegos como parte de la culminación de los estudios del Programa de Maestría en Producción Más Limpia. Autorizo a que la misma sea utilizada por la Universidad para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentada en evento, ni publicada sin la aprobación de la Universidad.

Firmo la presente a los _ días del mes de _ del año 201_.

Nombres y Apellidos del Autor:

Firma del Autor:

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según las normas establecidas en nuestro centro y que el mismo cumple los requerimientos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Nombres y Apellidos de Tutor:

Firma de Tutor:

Nombres y Apellidos de Registrador
CRAI:

Firma de Registrador CRAI:

Anotación del Tribunal de Defensa de la Memoria Escrita				
Fecha de la defensa:			Calificación	Firma del Presidente
Día	Mes	Año		

Pensamiento.



Dios no manda cosas imposibles, sino que, al mandar lo que manda, te invita a hacer lo que puedas y pedir lo que no puedas y te ayuda para que puedas.

San Agustín

Dedicatoria.



Le deseo dedicar este trabajo a Dios, el cual nos dio la fuerza y su bendición para llevarlo a cabo.

A mi madre, la cual siempre estuvo apoyándome y alentándome en el trabajo, me guió y me aconsejó para mi bien en todo tiempo.

A mi hermanita, por su apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que me ayudaron en su realización.

Agradecimientos.



*Le agradezco a Dios por su inmensa misericordia para con mi vida,
porque todo fue posible gracias a su soberana voluntad; le doy gracias
porque Él me enseñó a ser valiente y a no temer, sino a confiar y
descansar en Él.*

*Le doy gracias a mi mamá porque siempre me animó y me ayudó a lo
largo de este tiempo.*

*Le doy gracias a mi hermanita por su espíritu animoso, su apoyo y
comprensión.*

Le doy gracias a mi tutor por su ayuda y consejo

Gracias también a Dunia por haberme alentado y guiado

*Gracias a todos aquellos que de una forma u otra me dieron su apoyo y
me brindaron su ayuda.*

Resumen.



Resumen

En muchas partes del mundo de hoy, la contaminación provocada por el vertimiento de residuales al medio, específicamente al suelo y a las aguas, ha puesto a la humanidad en alerta. Se estima que una de cada seis personas en el mundo se ve afectada por estrés hídrico, lo que significa que no tienen acceso suficiente a agua potable. Esta situación ha llegado a agudizarse tanto que varios comentaristas han supuesto una inminente tercera guerra mundial en los próximos años por la obtención del preciado líquido. En este marco, la producción más limpia busca hallar alternativas que den solución o minimicen estos problemas, y así contribuir al cuidado y preservación del medio ambiente para las futuras generaciones. El presente trabajo tiene como objetivo el siguiente: evaluar la alternativa de tratamiento de residuales UASB como opción de producción más limpia en la industria azucarera cubana, UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”, para la mejora del proceso y protección ambiental. Como resultado de esto se define una opción de mejora en el desempeño de la entidad al obtener beneficios económicos por la venta de productos como el biol y la energía eléctrica, a la vez que se disminuyen los impactos negativos al medioambiente al reducir sus vertimientos a valores aceptados por las normas vigentes en el país.

Abstract



Abstract

Nowadays in many parts of the world, the pollution caused by the dumping of waste into the environment, specifically soil and water, has put humanity on alert. It is estimated that one out of every six people in the world is affected by water stress, which means that they do not have sufficient access to drinking water. This situation has become so acute that several commentators have assumed an imminent World War III slut in the coming years to obtain the precious liquid. In this framework, cleaner production seeks to find alternatives that solve or minimize these problems, and thus contribute to the care and preservation of the environment for future generations. The present investigation has as objective: evaluating The UASB waste treatment alternative as a cleaner production option in Cuban sugar industry UEB sugar factory "September 5", for process improvement and environmental protection. As results of this, an option for improving the performance of the entity is defined by obtaining economic benefits from the sale of products such as biol and electric energy, while reducing the negative impacts on the environment by reducing its shedding to accepted values by the regulations in the country.

Índice.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I. Marco teórico de la investigación.....	5
1.1 Producción más Limpia: Una estrategia de gestión empresarial a favor del Medioambiente .	5
1.2 Proceso de la Industria azucarera. Características generales de las aguas residuales de la industria azucarera.....	13
1.2.1 Características de los residuales líquidos de la industria	19
1.3 Los sistemas de tratamiento de residuales líquidos	22
Capítulo II: Materiales y métodos.....	30
2.1 Caracterización de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”	30
2.1.1 Diagnóstico Ambiental de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”	40
2.2 Metodología para la Evaluación de Producción más Limpia (EPmL) en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”	45
Capitulo III: Resultados	53
3.1 Medidas de Producción más Limpia. Buenas prácticas. Opciones de Producción más Limpia	54
3.2 Estudio ex post del sistema tratamiento de residuales existente en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”	54
3.3 Estudio ex ante del tratamiento de los residuales líquidos de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” en un reactor UASB.....	62
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	78
Bibliografía	79

Introducción.



INTRODUCCIÓN

Introducción

La conservación del medio ambiente no solo significa evitar desechos indeseables, sino también, la preservación y buen uso de los recursos naturales, entre ellos, el agua, considerada como un preciado líquido a partir de su significación para la vida de los seres vivos.

Como tal, el recurso agua cubre más del 70% de la superficie del planeta y se encuentra distribuida en océanos, lagos, ríos, glaciales, en el aire y en el suelo, pero la cantidad de agua dulce disponible para usos industriales, agrícolas, domésticos y de algún otro tipo es limitada, siendo sólo del 0,003% (Oña, 2013).

La civilización moderna no puede existir sin suficiente cantidad de agua, cada ser humano gasta alrededor de 500 L al día, debiéndose tener en cuenta los requerimientos de calidad para su abasto, a lo que se suman los consumos de la industria, la agricultura y otros usos socio productivos. En los países subdesarrollados el consumo de agua puede alcanzar cifras muy inferiores, mostrando los estudios realizados por el Banco Mundial valores del consumo máximos por persona entre 35 y 90 litros por día (Castellanos et al., 2005).

Los problemas relacionados con dicho recurso han sido reconocidos como las amenazas más serias e inmediatas a la humanidad. Mientras que en algunos lugares se puede obtener con facilidad agua limpia y fresca, en otros resulta difícil, debido a su escasez o a la contaminación de los acuíferos. Aproximadamente 1100 millones de personas, es decir, el 18% de la población mundial no tiene acceso a fuentes seguras de agua potable y más de 2400 millones de personas carecen del saneamiento adecuado (Oña, 2013).

En Cuba esta situación no es tan crítica como en otros países, por la ocurrencia de precipitaciones de diferente índole, aunque la distribución no es uniforme en todo el país y existen zonas afectadas por prolongadas sequías. Según datos recientes, los recursos hídricos potenciales en la isla son del orden de 38,1Km³, de ellos 24,4 explotables y 13,7 disponibles.

Al analizar el consumo mundial del agua por sectores, corresponde el primer lugar al sector agrícola con un 65%, seguido del sector industrial con un 25% y el consumo doméstico, comercial y de otros servicios urbanos con el 10%. En los últimos años según los reportes de Castellanos et al. (2005) el consumo de agua ha aumentado a razón de 1 a 1,5% por año, fundamentalmente en los países desarrollados (Castellanos et al., 2005). En Cuba se destina el mayor por ciento del agua al regadío de cultivos (43%), le sigue el

INTRODUCCIÓN

agua cuantificada en otros usos que incluye pérdidas por transporte, distribución, etc. (26%), luego el agua para abasto de la población (24%) y en menor proporción el agua empleada para actividades industriales (7%) (Serrano et al., 2006).

Dentro de la realidad antes apuntada, destaca los grandes volúmenes de agua que demanda el desarrollo de los procesos productivos, haciendo imprescindible un uso racional y adecuado de la misma. Este mayor consumo generará a su vez un mayor nivel de aguas residuales, lo que requerirá de un manejo eficiente para lograr el mínimo impacto al medio ambiente.

De modo particular, las industrias cubanas y dentro de ellas, la azucarera, constituyen una de las mayores consumidoras de agua, pudiendo alcanzar valores máximos del orden de los 141 kg/t caña molida, situación que la convierte en una alta generadora de desechos al medio ambiente. Sirva de comparación, los reportes de Dunand et al. (2007), citado por Oña (2013), donde la carga contaminante de sus fábricas representa alrededor del 80% del total que aportan las industrias.

Resultados similares al anterior se aprecian en estudios realizados en México, según el *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente*, publicado por la Comisión Nacional de Ecología de México, en el que se muestran porcentajes en materia de extracción y consumo de agua potable, así como de descargas de aguas residuales de los nueve principales giros industriales, ocupando la industria azucarera el primer lugar en estos indicadores con 35,20% de extracción, 22,3% de consumo y 38,8% de descarga (Castellanos et al., 2005).

Según el criterio de algunos investigadores, con el cual coincide la autora del trabajo, actualmente se consumen altos volúmenes de agua en la industria azucarera cubana, constituyendo esto un serio problema por su condición de Isla y por la disponibilidad del recurso en sus acuíferos. La dirección del Grupo Azucarero AZCUBA se encuentra enfrascada en la búsqueda de alternativas para ajustar el consumo en el proceso fabril a las necesidades reales de cada central.

En su Estrategia Ambiental hasta el 2030 AZCUBA propone como objetivos en cuanto al manejo de los recursos hídricos, incrementar la eficiencia en el uso y reúso del agua en las producciones agrícolas e industriales, así como, prevenir, reducir y controlar la contaminación provocada por el vertimiento inadecuado de las aguas residuales de la industria, para lo cual requiere de inversiones para la transformación de sus sistemas de residuales e incluir el uso del fertirriego.

INTRODUCCIÓN

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 materias orgánicas y nutrientes, lo que las convierte en fuente de fertilizantes naturales para diferentes cultivos al emplearlas en el riego u otras alternativas.

En un análisis particular dentro de este sector agro productivo, la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” no ha explotado a toda su intensidad, un sistema de buenas prácticas en cuanto al proceso, gestión y tratamiento del agua residual desde la fuente de origen, hasta su vertimiento, pues solo dispone de una sistema de lagunas de oxidación que no logran un tratamiento eficiente a sus residuales, ni hace un uso posterior de los mismos a partir de sus potencialidades como fertirriego, situación que compromete la salud de los ecosistemas de su radio de acción y gravita sobre la economía de la entidad, de ahí la necesidad de replantear la situación problema de la presente investigación.

Se asumió como **problema científico**: no se dispone de un sistema de buenas prácticas en el proceso, gestión y tratamiento del agua residual desde la fuente de origen hasta su vertimiento y uso posterior con gran afectación al medio ambiente.

Hipótesis de la investigación:

Con la aplicación de la metodología de producción más limpia se determinan los parámetros económicos necesarios para la valoración de alternativas de tratamiento de residuales en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”, lo que contribuye a inducir un proceso inversionista que asegure el cumplimiento de los parámetros norma a lograr de sus efluentes y aprovechar su reúso en las áreas productivas, definiendo eficiencia con disminución de costos por insumos de productos químicos, y consumo de agua en riego con mejora potencial en los rendimientos cañeros de sus plantaciones generando menor agresión a los ecosistemas.

Objetivo general:

Evaluar la alternativa de tratamiento de residuales UASB como opción de producción más limpia en la industria azucarera cubana, UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”, para la mejora del proceso y protección ambiental.

Objetivos específicos:

INTRODUCCIÓN

1. Realizar un estudio documental para identificar las tendencias de la Producción más Limpia en los procesos de producción industrial, en particular en la industria azucarera.
2. Diagnosticar mediante la aplicación de una metodología de Producción más Limpia el proceso industrial en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”.
3. Valorar desde los diferentes componentes económicos y tecnológicos la pertinencia de asumir un cambio en el sistema de tratamiento de residuales de la UEB estudiada.

El **aporte práctico** está dado por la posibilidad que brinda la implementación de la metodología de Producción más Limpia, en la evaluación de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales en la industria azucarera, con vista a su posible reúso y la menor afectación a los ecosistemas, donde la protección ambiental se integra en la ingeniería del proceso lo que define su eficiencia.

La **novedad científica** en la aplicación del análisis económico con enfoque de Producción más Limpia, a la toma de decisiones para la inversión en la construcción de sistemas de residuales para la industria azucarera cubana, desde su comparación con los sistemas tradicionales fundamentales en el uso de lagunas de oxidación, que además posibilita una mejor rentabilidad a partir del uso eficiente de los recursos, genera nuevos productos (biol y biogás) y mejora los parámetros del efluente líquido resultante al final del sistema y por ende su desempeño ambiental.

Con vistas a alcanzar los objetivos específicos planteados para la investigación el trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos.

En el **Capítulo I** se realiza un estudio documental sobre el tema de Producción más Limpia, en los procesos y su evaluación.

En el **Capítulo II** se analiza de forma general la caracterización de los aspectos socioeconómicos y medioambientales de la UEB Central Azucarero “5 de septiembre”. Se describe además la metodología propuesta a utilizar para realizar la evaluación de Producción más Limpia de recuperación en la UEB Central Azucarero “5 de septiembre”.

En el **Capítulo III** se analizan los resultados de la evaluación de Producción más Limpia de recuperación efectuada haciendo énfasis en el impacto y beneficio de la opción a aplicar.

Capítulo 1.



Capítulo I. Marco teórico de la investigación

El presente capítulo tiene como objetivo analizar el origen y evolución de los elementos conceptuales de la Producción Más Limpia y del proceso industrial de producción de azúcar crudo a partir de la caña, la generación de energía y el tratamiento de los no productos dentro del mismo y que constituyen las bases teóricas de la investigación (Figura 1).

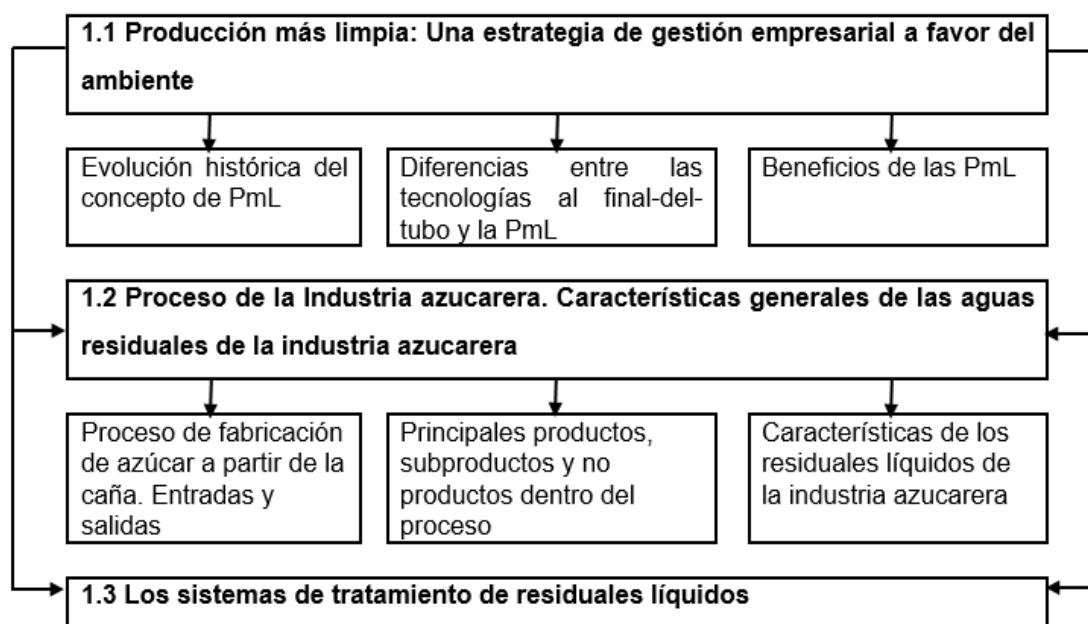


Figura1: Estructura capitular. Fuente: Elaborado a partir de Mata (2016)

1.1 Producción más Limpia: Una estrategia de gestión empresarial a favor del Medioambiente

El desarrollo de la sociedad moderna está forjado mediante procesos y actividades que llevan implícitos la producción de un gran número de residuos. La cantidad total de residuos que se recogen es cada vez mayor en las diferentes zonas geográficas de Europa y del planeta en general según cita Pérez (2017) al Informe del medioambiente en Europa (2003) y a autores como Jaramillo y Zapata (2008).

La generación de residuos varía considerablemente entre países de Europa, están entre los 685 kg per cápita (Islandia) y los 105 kg per cápita (Uzbekistán). De acuerdo a su composición, el porcentaje en peso de la fracción orgánica en países subdesarrollados es del 40% al 55% y en países desarrollados del 58% al 80,20% (Seoáñez, 2000 y Pérez, 2017).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Dante (2001) y Pérez (2017) destacan que, en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos supera el 50% del total generado, y solo el 2% de los mismos reciben tratamiento para su aprovechamiento.

La generación de residuos es un síntoma de ineficacia de los sistemas productivos. Evitar su generación excesiva, resulta esencial; por un lado, es una pérdida económica como resultado del mal aprovechamiento de los recursos e insumos empleados, y por otro, son contaminantes y afectan a la salud y al medioambiente; su reducción deriva en la prevención de impactos ambientales negativos (CONAM, 2003).

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial ONUDI (1999), Crespo y Ferrer (2006), Guzmán (2014) y Pérez (2017) consideran que para alcanzar el desarrollo sostenible y cerrar los ciclos productivos en las organizaciones no sólo es necesario lograr la correcta gestión de los residuos, sino que además, es imprescindible desarrollar Producciones más Limpias (PmL) encaminadas a aumentar la eficiencia en el uso de recursos naturales, fomentar la prevención en la generación de residuos, mejorar el control de procesos, e incrementar la rentabilidad de las empresas con la aplicación del concepto de las 3 R's (Reducción, Reutilización y Reciclaje).

El concepto de Producción más Limpia (PmL), según Oestreich et al. (2012) fue creado en la década de los años 70 del siglo pasado como respuesta de las empresas a las crecientes exigencias ambientales desarrolladas en marcos legales restrictivos y complejos.

Siguiendo la idea de los autores Oestreich et al. (2012) desde 1987 la prevención de la contaminación empezó a ganar importancia en el oeste europeo, en especial Suecia y Holanda y fueron seguidas por otros países. A partir de un enfoque diferente de la gestión de los procesos productivos, la manufactura, los servicios, el transporte y otros, se pasó a emplear el término Producción más Limpia (Cleaner Production), que involucraba un análisis más amplio de los impactos ambientales de la industria, incluyendo aspectos de salida, entrada, así como las sustancias tóxicas incorporadas al producto, además de agregar el concepto de mejora continua para la optimización del desempeño ambiental de la producción industrial.

Los autores Oestreich, et al. (2012) exponen que el término fue aceptado por la comunidad internacional e incorporado a las directivas del Programa Ambiental de las Naciones Unidas, en la Agenda 21 de la Convención Ambiental de Río de Janeiro en 1992. Desde entonces otros programas similares fueron desarrollados por los diferentes organismos de la cooperación internacional en todos los continentes.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

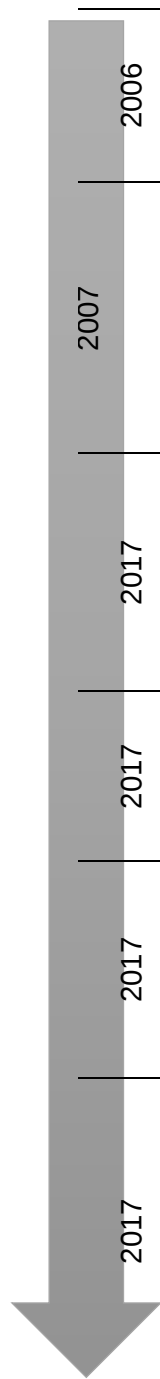
En América Latina, varios Centros de Producción más Limpia fueron creados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), destacándose Brasil y México como los primeros. Otras organizaciones de cooperación internacional se incorporaron a la iniciativa, dígame, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo (USAID), la Agencia alemana de cooperación técnica (GTZ), Cooperación Suiza y el Banco Interamericano de Desarrollo.

Según Hens et al. (2018) la definición de PmL ha sido abordada, modificada y enriquecida por innumerables autores; una mirada a las más citadas frecuentemente se muestra en la tabla 1. Sin embargo, la ONUDI lo ha definido como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a procesos, productos y servicios que procura aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente; ésta es precisamente la que se asume en la presente investigación. Los programas de PmL se implementan de forma consistente en prácticas y tecnologías que contribuyen a la adecuación ambiental de las empresas, generando a la vez beneficios económicos.

Tabla 1. Definiciones de Producciones Más Limpias

Año	Autor	Definición de PmL
1990	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/OEI)	Es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente.
1994	Comisión Europea, la primera mesa Redonda Europea sobre Programas de PmL	Es el enfoque conceptual y procedimental de la producción que exige que todas las fases del ciclo de la vida de un producto o del proceso deban abordarse con el objetivo de prevenir o minimizar los riesgos a corto y largo plazo para los humanos y el medio ambiente. Se requiere un compromiso social total para lograr este enfoque integral que logre el objetivo de una sociedad sostenible.
1998	UNEP, Declaración internacional sobre PmL	Es la aplicación continua de una estrategia integrada y preventiva aplicada a procesos, productos y servicios en busca de beneficios económicos, sociales, de salud, seguridad y medio ambientales.
1998	Fresner	Es una estrategia preventiva para minimizar el impacto de la producción y los productos en el ambiente. Los principales actores son las empresas, que controlan los procesos de producción. Se ven fuertemente influenciados por sus clientes y las políticas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN



2006	Yaacoub y Fresner	Es una iniciativa preventiva de protección ambiental específica de la empresa. Está destinado a minimizar el desperdicio y las emisiones, también maximizar la producción del producto.
2007	Glavic y Lukman	Es un enfoque sistemáticamente organizado de las actividades de producción, que tiene efecto positivo en el entorno. Estas actividades abarcan la minimización del uso de los recursos, la mejora de la eco-eficiencia y la reducción de la fuente, a fin de mejorar la protección del medio ambiente y reducir los riesgos para organismos vivos. Se puede aplicar a los procesos utilizados de cualquier sector industrial y a los productos (productos limpios).
2017	SD Característica	Es un enfoque preventivo para gestionar los impactos ambientales de los procesos y productos del negocio. Utiliza cambios en tecnologías, procesos, recursos o prácticas para reducir el desperdicio, riesgos ambientales y de salud; minimizar el daño ambiental; usar energía y recursos eficientemente, aumentar la rentabilidad comercial y la competitividad; también aumentar la eficiencia.
2017	Business Directory	Es la fabricación en la que las prácticas de minimización y prevención de residuos son continuamente aplicadas. Estas prácticas incluyen (1) conservación de materias primas y energía, (2) eliminación de entradas tóxicas, y (3) reducción de productos tóxicos.
2017	Kaunas Universidad de Tecnología de Lituania	Es una estrategia continua integrada y preventiva aplicada a productos, procesos y servicios, para mejorar la eficiencia que a su vez mejora el desempeño ambiental y reduce los costos.
2017	Comisión Europea, Revisión de PmL	Las tecnologías más limpias son tecnologías que extraen y usan los recursos naturales eficientemente en todas las etapas de sus vidas; que generan productos con reducción o sin daños potencial de los componentes; que a su vez minimiza las emisiones al aire, al agua y al suelo durante la fabricación (producción) y el uso del producto; y que producen productos duraderos que se pueden recuperar o reciclar con la mejor medida posible; la salida se logra con la menor entrada de energía posible.

Fuente: Tomado de Hens et al. (2018)

A diferencia de las prácticas convencionales de priorizar la caracterización y el tratamiento de los residuos para cumplir con las metas ambientales establecidas por los gobiernos, la aplicación de programas de PmL incluye estudios y proyectos para optimizar el uso de las materias primas, agua y energía, la eliminación de materias primas tóxicas o que puedan generar residuos peligrosos, siempre que esto sea posible, y la reducción de las cantidades de residuos y desperdicios de los procesos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Además, las PmL constituyen un proceso eficiente de prevención de la contaminación desde su punto de origen, a través de la conservación y ahorro de recursos a lo largo del proceso industrial, en contraposición a los procesos ineficientes de control de la contaminación “al final del tubo”. Sin embargo, existen diferencias significativas entre las tecnologías al final-del-tubo y la Producción más Limpia (Tabla 2) en el sentido de la protección al medioambiente integrada a la producción.

Tabla 2: Diferencias entre las tecnologías al final-del-tubo y PmL

Tecnología al final-del-tubo	Producción Más Limpia
¿Cómo podemos tratar los desechos y emisiones existentes?	¿De dónde provienen los desechos y las emisiones?
Comienza por la re-acción	Comienza por la acción
Generalmente conlleva a costos adicionales	Puede ayudar a reducir los costos
Los desechos y emisiones están limitados a través de filtros y unidades de tratamiento soluciones al final-del-tubo tecnología de reparación almacenar emisiones	Prevención de desechos y emisiones en la fuente evita procesos y materiales potencialmente tóxicos
La protección ambiental entra después que se han desarrollado los productos y procesos	La protección ambiental entra como una parte íntegra del diseño del producto y la ingeniería del proceso
Los problemas ambientales se resuelven desde el punto de vista tecnológico	Los problemas ambientales se abordan a todos los niveles/en todos los campos
La protección ambiental es una cuestión para expertos competentes	La protección ambiental es asunto de todos
Se compra de fuera	Es una innovación desarrollada dentro de la compañía
Aumenta el consumo de material y energía	Reduce el consumo de material y energía
Aumenta la complejidad y los riesgos	Reduce los riesgos y aumenta la transparencia
La protección ambiental se reduce a cumplir normas legales	La protección ambiental es un desafío permanente
Es el resultado de un paradigma de producción que data del tiempo cuando los problemas ambientales no se conocían todavía	Es un enfoque que trata de crear técnicas de producción para un desarrollo más sostenido

Fuente: Tomado de ONUDI (2014)

El proceso de reducción de la contaminación en las PmL se realiza en 4 niveles de acción (Anexo 1), dentro de los cuales se encuentran los preventivos (la reducción y el reciclaje/reutilización) y de control (tratamiento y disposición final).

Un gran número de instituciones, dígame, ONUDI (1999), CONAM (2003), PNUMA (2003) y, CNP+LH et al. (2009) reportan los beneficios técnicos, económicos y ambientales al implementar la estrategia de PmL, resumidos en la tabla 3. Sin embargo, la experiencia

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

demuestra que las empresas o proyectos que aplican esta estrategia lo hacen motivados principalmente por sus bondades económicas.

Tabla 3: Beneficios de la Producción Más Limpia

Al reducir	Se incrementa
El uso de la energía en la producción.	La calidad del producto
La utilización de materias primas.	La eficiencia, a través de una mejor comprensión de los procesos y actividades de la empresa
La cantidad de residuos y la contaminación.	La motivación del personal.
Los riesgos de accidentes laborales, lo que a su vez implica reducción de costos (ejemplo: primas de seguros más bajas).	El prestigio, al mejorar la imagen de la empresa al socializar los resultados del proceso.
La posibilidad de incumplimiento de normas ambientales y sus correspondientes sanciones.	La competitividad en nuevos mercados nacionales e internacionales.
Costos en la producción	Ingresos y ahorros de la empresa.
La tasa de uso de recursos naturales y la tasa de generación de residuos contaminantes.	La protección del medioambiente.
Los riesgos medio ambientales en caso de accidentes.	La mejora continua de la eficiencia medioambiental en las instalaciones de la empresa y de los productos

Fuente: Elaborado a partir de ONUDI (1999), CONAM (2003), PNUMA (2003) y, CNP+LH et al. (2009)

En 1997, Van Berkel propuso siete diferentes tipos de enfoques de PmL de acuerdo a los conjuntos de prácticas preventivas aplicadas en las etapas de los procesos y servicios a saber, en los servicios propiamente dichos, en la cadena de valor, en el producto, en las materias primas, tecnológica, operacional y de recuperación. Estas prácticas no son excluyentes y pueden superponerse de acuerdo a las necesidades de las empresas (Oestreich et al., 2012).

Para ONUDI (2014) la PmL en los servicios evalúa la eficiencia del uso de los materiales y de energía necesaria para la oferta de servicios al cliente, valora la compra de equipos, bienes durables y de consumo. Por su parte en la cadena de valor se evalúa el proceso, con miras a identificar aquellos puntos donde es necesario introducir mejoras ambientales en la transferencia de materiales. En el producto se valora el diseño del mismo y su uso en el ciclo de vida para reducir con ello los impactos ambientales durante la vida útil. La PmL en las materias primas valora la selección de las mismas y de los materiales auxiliares empleados en la elaboración del producto.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

La tecnológica, por su parte, estudia la elección y la forma de operar las tecnologías de fabricación, distribución y entrega de los productos y servicios. La operacional está encaminada a la reducción de residuos y desperdicios del proceso productivo y evalúa su planificación, administración y forma de operación, y por último la de recuperación está encaminada a medir los flujos de materiales o insumos importantes empleados en el proceso productivo y considera siempre el punto de origen de generación de residuos o de pérdida de insumos.

Para Oestreich et al. (2012) la cantidad de residuos o desperdicios supera, en ocasiones el volumen al producto final producido. Esto es especialmente importante si se considera que el objetivo del proceso es producir eficientemente sus productos y no la producción de “no-productos” como son los residuos sólidos, aguas residuales y emisiones hacia la atmósfera, tal cual se esquematiza en la Figura 2.

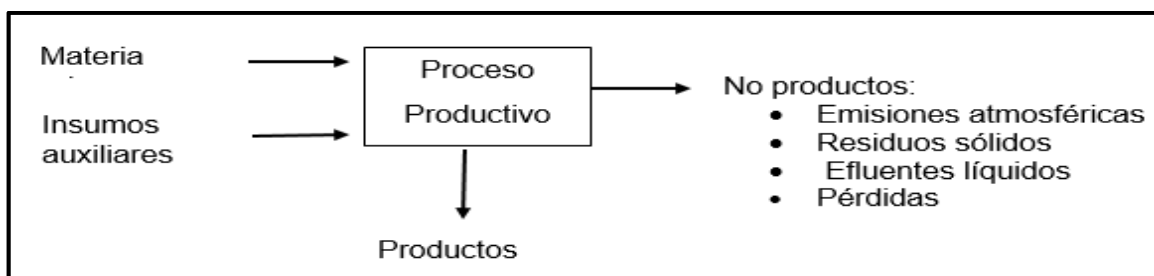


Figura 2: Innovación estratégica y eficiencia operacional. Fuente: Tomado de Oestreich et al. (2012)

Así mismo, la evaluación de Producción más Limpia para Pérez (2018) es un proceso de manejo de la información que permite identificar posibles mejoras del proceso estudiado, enfocadas a la reducción de los residuos en el origen y culmina con la preparación de los planes para ejecutar esas mejoras.

La literatura consultada expone una gran variedad de metodologías en relación a cómo aplicar la Evaluación de Producción más Limpia (EPmL) en empresas de producción y servicios. Entre las analizadas y por su importancia se encuentran las citadas a continuación y que se describen con más detalle en el (Anexo 2):

- Metodología para la Evaluación de Producción más Limpia propuesta por el PNUMA.(ONUDI, 1999).
- Metodología de Evaluación de Producción más Limpia del método genérico. (Ochoa, 2007).
- Metodología para la Evaluación de Producción más Limpia descrita por Miguel Rigola.(Rigola, 1998).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

- Metodología para la Evaluación de Producción más Limpia, descrita por expertos cubanos. (Serrano, 2006).

Todas estas metodologías abordan las mismas tareas a desarrollar en una EPmL, solo cambia en algunos casos la etapa donde se llevan a cabo, pues sintetizan más las etapas y en una sola fase encierran varios pasos que en otras metodologías se hacen más detalladas dándoles un plazo mayor. En resumen, todas van encaminadas a un mismo fin, lograr la evaluación del estado de la empresa y proponer opciones generales de PmL con su evaluación factible correspondiente.

Al aplicar la EPmL se obtienen los siguientes resultados:(ONUDI, 1999 y CONAM, 2003)

- Localización de los principales puntos de entrada: consumo de agua, energía, materias primas e insumos.
- Identificación de las principales fuentes de residuos y las cantidades generadas.
- Identificación de procesos que generan una cantidad considerable de residuos.
- Establecimiento de puntos críticos.
- Identificación de fortalezas desde el enfoque de procesos y desde un análisis económico y ambiental.
- Establecimiento de un programa de reuniones para seguimiento de la implementación.

En este trabajo se aplicará la metodología descrita por el PNUMA ya que es la que más se adapta a las condiciones del objeto de estudio, la misma constituye un enfoque de gestión orientada a la producción que lleva implícito la mejora de la competitividad, además de promover procesos de mejora continua a través de la implementación de buenas prácticas u opciones de inversión en caso necesario, unido a la reducción de la contaminación en la fuente de sus procesos, productos o servicios; y la evasión de sanciones económicas por parte de las autoridades ambientales, de conjunto con la promoción de nuevos beneficios al ofrecer al mercado productos fabricados bajo tecnologías limpias.

En Cuba y desde hace años se vienen desarrollando en el sector productivo algunas prácticas dirigidas a mitigar los efectos negativos sobre el medioambiente, principalmente en las industrias y actividades más contaminantes, su introducción ha sido limitada por factores de diversa índole. Entre ellos, destacan los autores Hernández (2007) y Oña (2013) la carencia de recursos materiales y financieros y las dificultades para acceder a tecnologías más limpias, el énfasis de las normativas y sistemas reguladores sobre las emisiones y sistemas de control de la contaminación a la salida del proceso, la

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

inexistencia de normativas tecnológicas y ambientales actualizadas y otros factores subjetivos como la falta de conocimiento a todos los niveles de las organizaciones productivas sobre los beneficios económicos y ambientales de la introducción de prácticas de Producción más Limpia y el insuficiente nivel de exigencia por parte de las autoridades ambientales.

Una necesidad existente para la introducción efectiva y práctica del concepto de PmL es la revisión, actualización y modificación de las normas técnicas y jurídicas vigentes y la implementación de los programas de monitoreo ambiental (Pérez de Alejo, 2000; Terry et al., 2003; Hernández, 2007; citados en Oña, 2013).

Sin embargo, la temática adquiere relevancia en dos lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución, dígame, 161 y 243, que abogan por el desarrollo de estrategias preventivas de PmL para la reducción de la generación de residuales y emisiones en la fuente de origen.

Así mismo el lineamiento 177 aborda esta problemática enfocada en la producción de azúcar, sus derivados y la entrega de electricidad al Sistema Electro energético Nacional en función de soluciones a los residuales líquidos de la industria azucarera, objeto de estudio de esta investigación. (Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021, 2017).

La PmL es un enfoque de gestión orientada a la producción que lleva implícito la mejora sustantiva en la competitividad de las empresas, promueve procesos de mejora continua a través de la implementación de buenas prácticas, que tienen en cuenta las tecnologías productivas disponibles, apropiadas y en uso en el país, y genera beneficios ambientales en sectores altamente contaminantes como la industria azucarera y que será abordado desde la perspectiva de su proceso industrial en el siguiente epígrafe.

1.2 Proceso de la Industria azucarera. Características generales de las aguas residuales de la industria azucarera

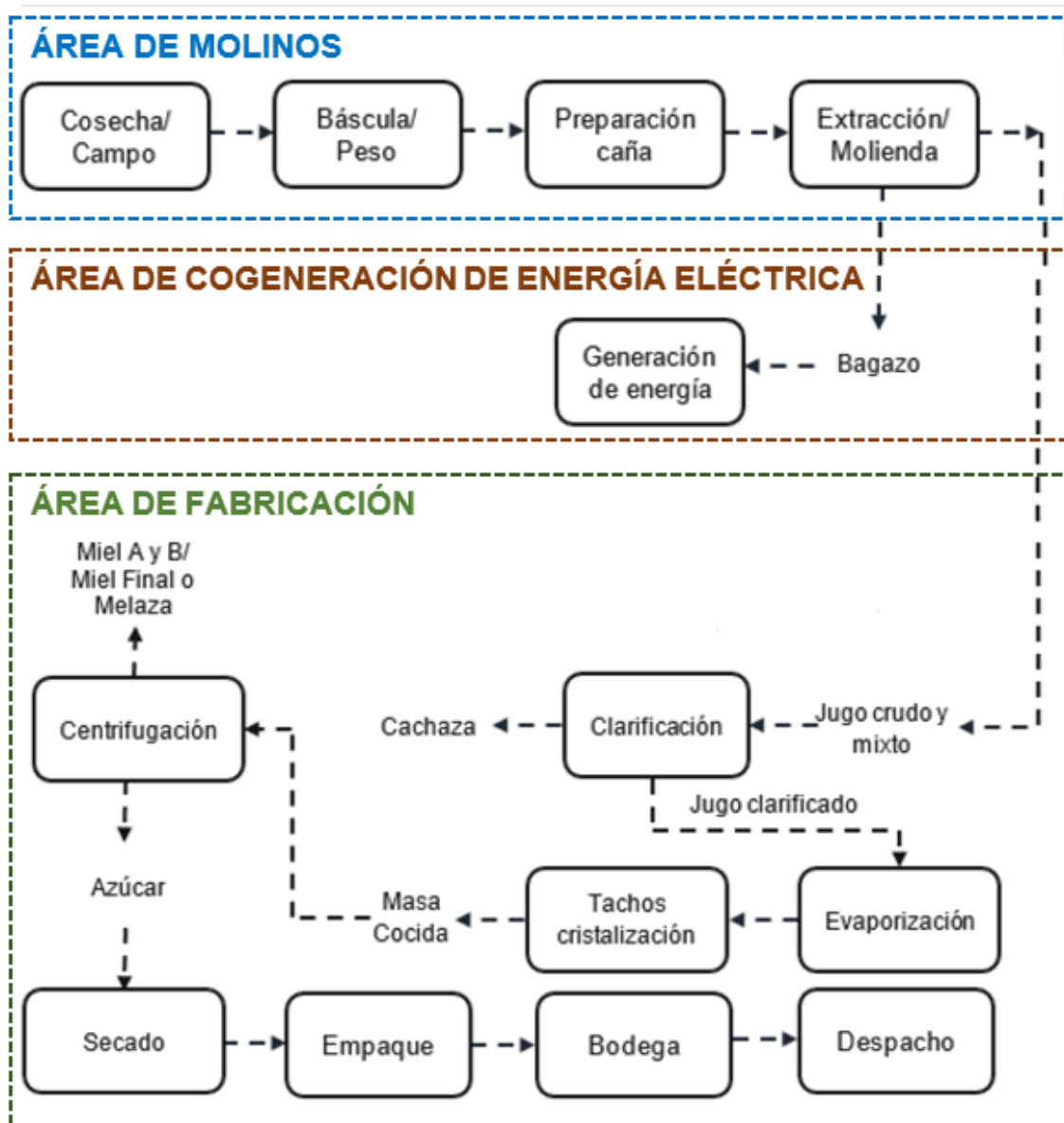
El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, formado por cristales sueltos de sacarosa, obtenidos de la caña de azúcar (*Saccharumsp*) mediante procedimientos industriales (Perafan, 2008) (APAH, 2008). Según dichos autores, la caña de azúcar contiene entre 8 y 15% de sacarosa; como resultado de la molienda se obtiene el jugo de la caña, que se concentra y cristaliza al evaporarse el agua por calentamiento.

En las refinerías el azúcar crudo y blanco sulfitado es disuelto y convertido en licor, luego es limpiado y cristalizado nuevamente para producir el azúcar refinado. Los azúcares blancos son muy puros con más del 99% de sacarosa, mientras que los azúcares crudos

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

poseen un contenido algo menor de sacarosa, aproximadamente entre 96 y 98%. El azúcar se clasifica según el grado de refinación en, azúcar moreno, blanco y refino.

Desde el punto de vista técnico, el procesamiento de caña de azúcar se distribuye en tres áreas: molinos, generación y fabricación. De esta forma, el proceso se considera secuencial hasta obtener el azúcar y sus subproductos según Zaldivar (s.f.) citado por CNP+LH et al. (2009). San Carlos (2010) considera dentro del mismo ocho actividades fundamentales: Recepción - descarga y alimentación, molienda, purificación, clarificación, evaporización, cristalización, centrifugación, secado y empaque que permiten la transformación de la materia prima inicial en un producto final (Figura 3).



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 3: Proceso de fabricación de azúcar crudo a partir de la caña. Fuente: Tomado de San Carlos (2010)

A continuación, se muestra una breve descripción de cada una de las áreas y actividades que conforman el proceso industrial de producción de azúcar a partir de la caña (CNP+LH et al., 2009).

- Área de Molinos: en esta área se hace la recepción de caña de azúcar, la extracción de jugo y la obtención de bagazo, este último se utiliza como combustible para las calderas. Abarca dos actividades fundamentales: Recepción, descarga y alimentación de la caña y molienda, que se explican a continuación.

a) Recepción, descarga y alimentación de la caña: la caña de azúcar se transporta a través de diversos medios al central (remolques, camiones, etc.); posteriormente, es pesada en básculas anexas a la fábrica y se descarga en las mesas alimentadoras por medio de grúas cañeras, grúas puente, volteadores laterales y otros equipos. Las mesas son colocadas lateralmente y en ellas se hace el lavado de la caña de azúcar, con el fin de eliminar la arena y tierra proveniente del campo. En Cuba el lavado de la caña no se realiza, posteriormente la caña pasa de las mesas alimentadoras al conductor principal. Muchos centrales montan niveladores cuya función es distribuir y nivelar la caña en el conductor. Sobre el conductor, la caña es picada con uno o dos juegos de cuchillas picadoras y desfibradoras con las que se obtiene una aceptable preparación de la caña. Las picadoras y las desfibradoras aseguran la alimentación a los molinos y mejoran la preparación de la caña para hacer eficiente la extracción de jugo. Las desfibradoras son poco usadas en Cuba, pues normalmente solo cuentan con dos o tres juegos de picadoras.

b) Molienda: una vez que la caña ha pasado por las picadoras pasa al primer molino, en donde, a través de un conductor intermedio¹ pasa a un segundo molino, y así sucesivamente hasta el último molino dependiendo del tamaño del tándem. El número de molinos utilizados generalmente oscila entre cuatro y siete, y el molino consta normalmente de cuatro mazas (dos inferiores, una superior y una cuarta maza) y su función es la extracción del jugo de la caña.

Para ayudar a la extracción del jugo se adiciona, antes del último molino, agua caliente al bagazo para extraer hasta el 94 o 95% de la azúcar contenida en la caña, esto favorece la

¹Los conductores intermedios (de cadena de arrastre o de rastrillo, de tablilla persiana, de banda, etc.) son los encargados de llevar el bagazo de un molino a otro

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

capacidad de los molinos para transformar la caña en una masa homogénea y compacta. En los molinos anteriores, se le adiciona jugo diluido del molino al cual precede y a esto se le llama imbibición. Seguidamente el jugo se somete a uno o preferiblemente dos tamizados (uno grueso y otro fino), para eliminar la mayor cantidad de bagacillo². Después de extraído el jugo debe escurrir rápidamente desde la zona donde el bagazo sufre la presión máxima.

El remanente de la molienda es el bagazo; este residuo según Manuelita (2006) es utilizado como combustible en las calderas para generar vapor y producir energía eléctrica. Esta energía es utilizada para el calentamiento de los jugos y cocimiento de las masas de jugo de la caña de azúcar, también el bagazo resultante puede enviarse a un almacén donde es despachado luego para ser utilizado como materia prima en la industria de elaboración de papel.

- Área de cogeneración de energía eléctrica. Se define como la producción simultánea de energía térmica y energía eléctrica. En los centrales azucareros el proceso de cogeneración es el siguiente:

El bagazo procedente del proceso de molienda es transportado en conductores hacia las calderas para ser usado como combustible en la producción de vapor de agua a diferentes presiones (14,06 Kgf/cm², 28,12 Kgf/cm², 42,18 Kgf/cm², 63,27 Kgf/cm²), dependiendo del diseño de cada central. El vapor de agua es posteriormente utilizado en turbogeneradores de contrapresión o de condensación, aquí se genera la energía eléctrica utilizada en el proceso de fabricación de azúcar, teniendo un excedente que es entregado al Sistema Interconectado Nacional (SIN). En el caso de usar turbogeneradores de contrapresión o de escape, este vapor se utiliza en el proceso de producción de azúcar en sus diferentes etapas de calentamientos a una presión de 1,4 Kgf/cm².

La generación específica total es alrededor de 50 a 70 kilovatios hora por tonelada de caña molida (Kwh/TCM), de los cuales de 24 a 26 Kwh/TCM es consumida en el proceso de producción de azúcar y el resto es entregada al SIN.

En el Anexo 3 se ilustra el flujograma en las áreas de molinos y cogeneración de energía eléctrica, con sus principales entradas y salidas.

- Área de fabricación.

- a) Purificación: el jugo extraído de los molinos es ácido, turbio y de color verde oscuro por lo que, es necesaria su purificación, que inicia con el proceso de sulfitación. El proceso consiste en la adición de azufre bajo forma de dióxido de azufre (SO₂) en

² El bagacillo se define como fibra muy fina de la caña de azúcar.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

contracorriente con el jugo proveniente de molinos, con el objetivo de que reaccionen los compuestos férricos con el azufre para iniciar la reducción de color.

Al jugo sulfitado se le adiciona una lechada de cal para elevar su pH a 7,0 – 7,2, inmediatamente pasa por dos etapas de calentamiento, para ello, se utilizan los calentadores que son intercambiadores de calor entre el jugo y el vapor de los evaporadores; el calentador es de varios pasos (tubulares o de placa) con ello se aprovecha en mejor forma el vapor que circula por fuera de los tubos que conducen el jugo.

En la primera etapa pasa a una temperatura de 45 a 85 grados Celsius, y en la segunda de 85 a 105 grados Celsius. Seguidamente, al jugo calentado se le agrega una solución de un polímero llamado floculante, para dar inicio a la fase de clarificación.

b) Clarificación: la clarificación consiste en una separación de fases del jugo para decantarlo. La decantación se lleva a cabo en clarificadores de jugo en los cuales las impurezas, por efecto de procesos químicos, se van al fondo y el jugo clarificado se extrae por la parte superior; el sedimento, lodo o cachaza lo hace por la parte inferior o a través de bombas especiales.

El clarificador consiste de un tanque lo suficientemente grande para que la velocidad de escurrimiento y de circulación sea tan baja que no impida la realización de la decantación ni deteriore el jugo. El jugo clarificado se hace pasar por tamices estacionarios o vibratorios para eliminar las impurezas todavía presentes.

El lodo o cachaza contiene todavía azúcar y requiere ser pasada por filtros rotativos al vacío para recuperar cierta cantidad de jugo, el cual retorna al proceso; de este proceso se retira una torta de cachaza que es devuelta al campo.

c) Evaporación: el jugo clarificado según Rincón (2008), pasa a los evaporadores donde se elimina alrededor del 80% del agua. La evaporización de esta agua se hace en dos etapas: 1) La evaporación propiamente dicha, que elimina aproximadamente las dos terceras partes de agua, obteniéndose un líquido que se conoce como meladura; y 2) el cocimiento.

Los evaporadores trabajan en cuádruple o quíntuple efecto, el vapor producido por la evaporación de agua en el primer efecto es utilizado para calentar el segundo y así sucesivamente hasta llegar al último efecto que entrega sus vapores al condensador.

La importancia del sistema de múltiples efectos es que permite trabajar con temperatura menos peligrosa, la alta temperatura produce pérdidas por inversión (pérdidas de sacarosa) y coloración del jugo que afectaría la calidad de los cristales de azúcar.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

d) **Cristalización:** en esta etapa se realiza el cocimiento, que es el proceso en el cual la meladura obtenida en la evaporación pasa a la última etapa de extracción de agua o concentración máxima; por lo que según Incauca (2006), a medida que la meladura se concentra, su viscosidad aumenta rápidamente y luego comienzan a aparecer cristales de azúcar.

Esta pérdida de fluidez del material hace necesario que se realice un manejo diferenciado del mismo, ya que no es posible circularlo en tubos angostos de un cuerpo a otro; por lo tanto, la evaporación se llevará a cabo en un solo efecto, el equipo es similar al de los evaporadores, pero adaptado para manejar el producto viscoso que debe concentrar. Estos equipos reciben el nombre de tachos y de esta operación depende la calidad del azúcar final. Los tachos trabajan al vacío para efectuar la evaporación a baja temperatura y evitar así la caramelización del azúcar.

e) **Centrifugación:** en los tachos se obtiene una masa denominada masa cocida, que es una mezcla de cristales de azúcar y miel, la cual es enviada a la operación de centrifugación; esta operación para Manuelita (2006) separa los cristales de la masa para obtener el azúcar en forma comercial, también se conoce con el nombre de centrifugado o "purgado", obteniendo azúcar crudo, y miel. La miel se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los cocimientos.

En estos procesos se obtienen tres tipos de azúcar, productos de tres estaciones de centrifugas: 1) el azúcar de primera o azúcar comercial; 2) el azúcar de segunda utilizado para el cocimiento de primera; y, 3) el azúcar de tercera que se utiliza para la cristalización del segundo cocimiento, de este último se extrae una miel final denominada melaza. En la actualidad, las centrífugas son completamente automáticas y dependiendo de la masa por purgar, se ajustan los tiempos de cada paso de la máquina.

f) **Secado y empaque:** después que el azúcar sale de la centrífuga pasa a ser secado y enfriado para asegurar su buena conservación en el almacén. Las secadoras y enfriadoras consisten en tambores rotativos a través de los cuales se circula aire caliente y frío respectivamente para deshumedecerlo y enfriarlo, posteriormente se envía al área de envase. En Cuba el azúcar blanco no se almacena a granel si no, en sacos, mientras que el crudo para exportación se almacena a granel.

En el Anexo 4 se desarrolla el flujograma de proceso del área de fabricación con sus respectivas entradas y salidas en cada momento.

El azúcar no sólo se usa como componente de alimentos caseros o industriales, sino que también es el material en bruto cuya fermentación produce etanol, butanol, glicerina, ácido

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

cítrico y ácido levulínico. El azúcar es ingrediente de algunos jabones transparentes y puede ser transformado en ésteres y éteres, algunos de los cuales producen resinas duras, infusibles e insolubles (CNP+LH et al., 2009).

Así mismo por cada 100 toneladas de caña de azúcar se obtiene aproximadamente once toneladas de azúcar (96%), 27,5 toneladas de bagazo (50% de humedad), 3,5 toneladas de miel final (85% de sólidos), 2,5 toneladas de cachaza (75% de humedad) y 20 toneladas de residuos agrícolas (Akbar y Khwaja, 2006) y (CNP+LH et al., 2009).

El bagazo es el remanente de la fibra de la caña, es fibroso y pobre en sacarosa, constituye cerca del 30% del total de la caña de azúcar procesada y contiene aproximadamente 50% de humedad. El bagazo se utiliza como combustible en los centrales, supliendo hasta el 100% de los requerimientos de combustible para las calderas; también se utiliza para la producción de pulpa y papel. Por cada 100 kg de caña procesada se generan de 25 a 30 kg de bagazo.

La cachaza, por su parte, es el conjunto de precipitados sólidos que se recolectan en filtros al vacío y filtros prensa después de los procesos de clarificación. La cachaza obtenida se utiliza principalmente como fertilizante debido a su contenido de fósforo, calcio, nitrógeno y en menor proporción de potasio.

Además, contiene más del cincuenta por ciento de materia orgánica por lo que a menudo se utiliza para rellenar tierras bajas. Su disponibilidad es del 3 al 4% del peso de la caña. Otro posible subproducto del proceso de sulfitación del azúcar es la cera de caña de azúcar, la cual constituye alrededor del 8 al 10% de la cachaza obtenida.

A modo de conclusión podemos decir que la industria azucarera tiene un proceso de ciclo cerrado pues la mayor parte de su materia prima es producida por ella misma. La restante materia prima es provista por productores independientes. La infraestructura industrial, las fuentes de abastecimiento de energía y de agua también son propios.

Siguiendo la lógica de análisis presentada en la figura 2, también la industria genera no productos, dígame, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, efluentes líquidos y pérdidas (Escobedo, 2001); por su importancia para esta investigación serán abordados a continuación los efluentes líquidos.

1.2.1 Características de los residuales líquidos de la industria

El consumo de agua en la industria azucarera para Castellanos et al. (2005) citado por Oña (2013) es un parámetro clave que determina los volúmenes y concentraciones de los

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

residuales líquidos a manejar y por ende la capacidad y características de los sistemas de tratamiento y disposición final.

Así mismo CNP+LH et al. (2009) reconoce como fuentes fundamentales de generación de aguas residuales en los centrales azucareros: la central de caldera, las estaciones de evaporación y cocción, la refinación y la limpieza de los patios y pisos.

Las aguas residuales de esta industria según criterio de los autores Morales (2011) y Valera (2016) se caracterizan por elevado volumen, carga orgánica y bajo pH. El 88% del consumo total recae en los condensadores de melador, de tachos y scrubbers de calderas (Figura 4). Además, Victoria (2014) reconoce, que, como promedio, los centrales azucareros vierten entre 0,5 y 0,6 m³ de residuales por tonelada de caña molida.

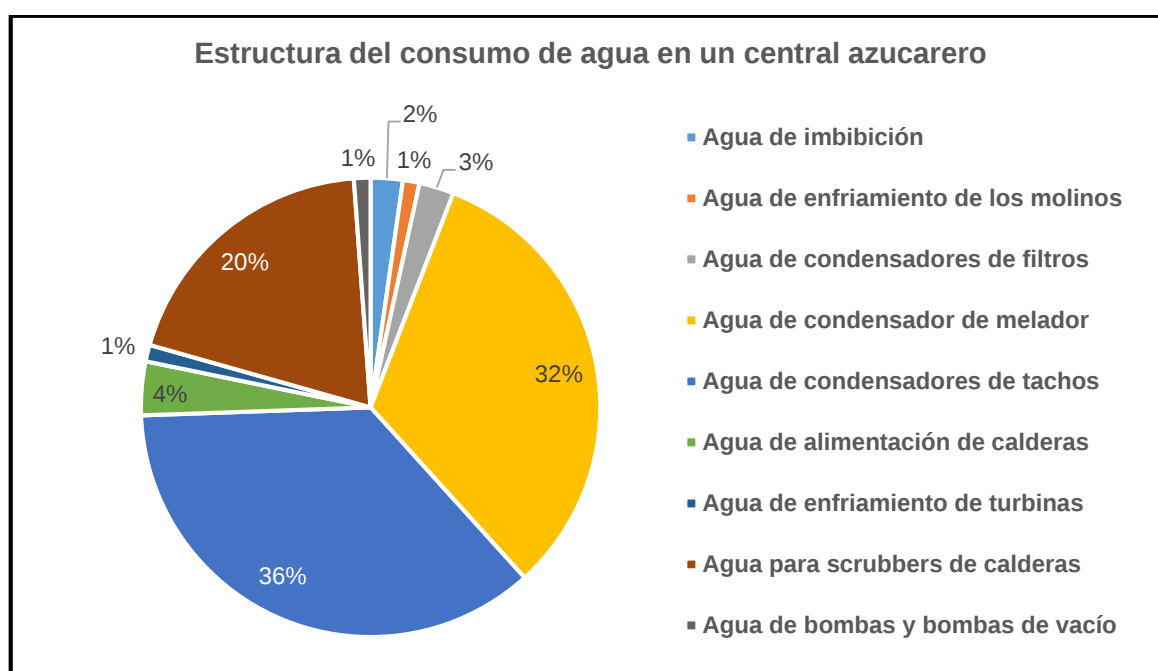


Figura 4: Estructura del consumo de agua en un central azucarero. Fuente: Elaborado a partir de Sáenz (2011)

Otro aspecto importante en este sentido lo exponen las autoras García (2009), Socorro (2012) y Poma (2015) cuando afirman, en muchos casos, que las aguas residuales provenientes del proceso son vertidas en cuerpos de agua superficiales, provocando afectaciones en el medio, así como a las poblaciones aledañas, consecuencia del nulo o ineficiente tratamiento al que son sometidos los efluentes antes de su disposición final.

Una mirada a las emisiones de aguas residuales por etapas del proceso de producción de azúcar crudo según criterio de la autora de la investigación se describe a continuación:

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

La actividad de molienda genera aguas residuales procedentes de las chumaceras de los molinos, con alto contenido de grasa y aceites propios de la lubricación de los equipos. El vertimiento de estas aguas al medio trae consigo intoxicación de la flora y la fauna por la presencia adicional de contaminantes químicos que provocan eutrofización y esterilidad del suelo.

Durante la clarificación específicamente en el lavado de calentadores de jugo mezclado se utilizan productos clasificados como contaminantes inorgánicos como el ácido clorhídrico y sosa cáustica y aunque el volumen de las descargas se considera inapreciable (0,020 lts/TC de ácido y 0,030 lts/TC de sosa cáustica) puede producir contaminación en la zona de descarga según advierte CNP+LH et al. (2009).

Como resultado de la actividad de evaporación se generan aguas de desecho por dos grandes conceptos, las primeras son aguas condensadas como resultado de la evaporación, que en ocasiones arrastran granos de azúcar; y en un segundo momento aguas residuales producto del lavado de los evaporadores y calentadores, con contenidos de ácido clorhídrico y sosa cáustica.

En la cristalización, también se generan aguas residuales con temperaturas elevadas que su vertimiento daña a los recursos receptores (suelo y agua); dentro los daños más significativos que ocasionan se encuentran la infertilidad y muerte de microorganismos benéficos del suelo y reducción del oxígeno disuelto en el agua. Se generan:

- Residuos líquidos en los condensadores al vapor, causado por problemas de operación o perforaciones en los tubos del calentador y que se caracterizan por altos volúmenes y bajo contenido de DBO y;
- Residuos líquidos concentrados, en pequeños volúmenes y elevado contenido de materia orgánica.

Por otra parte, el ordenamiento de la gestión del agua en un central azucarero debe tener como objetivo minimizar la cantidad de agua residual generada, que requiera el mínimo tratamiento y que se pueda reutilizar dentro del proceso de producción.

El tratamiento de aguas residuales en los centrales depende en gran medida de las particularidades locales. Las características de los circuitos a nivel interno del central, tienen una influencia determinante sobre el tamaño del sistema de tratamiento. Después de cerrar los circuitos, el sistema de gestión del agua debe permitir que las aguas, con mínima contaminación y que no necesiten mayores tratamientos, puedan verterse a los canales de desagüe.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Las aguas residuales se utilizan con frecuencia para el riego de la caña. En algunos casos las aguas residuales se descargan directamente a los cuerpos receptores, pero respetando la NC 27:2012 que regula las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores clase A.

La aplicación del fertirriego en Cuba, además de reportar resultados favorables en los rendimientos azucareros e importantes ahorros por concepto de sustitución de fertilizantes minerales, constituye una efectiva respuesta al problema de la contaminación a cuenta de la descarga indiscriminada de los residuales a los cuerpos receptores. Las características de las aguas residuales en la industria azucarera para su uso en las plantaciones cañeras se citan en la Tabla 4.

Tabla 4: Clasificación de las aguas residuales de la industria azucarera para el riego en las plantaciones cañeras.

Criterios	Conductividad eléctrica (mm Ohm/cm)	Sales solubles totales (ppm)	Relación de absorción de Sodio (RAS)	pH
Buena	<1,50	<960	<4	6-7
Regular	1,50-1,80	960-1150	4-7	5-6
Mala	1,80-2,40	1150-1530	7-10	4-5 7,8-8,4
No utilizar	>2,40	>1530	>10	<4->8,4

Fuente: Tomado de CITMA et al. (1998)

De forma general podemos decir que aquellas aguas residuales que debido a su composición no sea posible reutilizar en el proceso, deben ser tratadas de forma previa a su vertimiento o disposición final, precisamente los sistemas para tratar aguas residuales serán abordados en el siguiente apartado.

1.3 Los sistemas de tratamiento de residuales líquidos

Según Merino (2003) y citado por Oña (2013), el tratamiento de las aguas residuales industriales es de gran importancia para evitar posibles contaminaciones del medioambiente, pues traen consigo diversas concentraciones de productos químicos que en algunos casos pueden ser perjudiciales en aguas usadas con diferentes fines.

Cada tipo de agua residual necesita de un sistema específico de tratamiento, buscando primero, las causas de la generación de esos efluentes para minimizar sus efectos y, posteriormente, diseñando el arreglo más eficaz, tanto desde el punto de vista económico como los posibles efectos a corto, mediano y largo plazo (Durán de Bazúa, 1994, citado en Oña, 2013).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

El tratamiento convencional de estas aguas, está compuesto por tres fases o etapas y un pre tratamiento: (Lorenzo y Obaya, 2006), dígase, pre-tratamiento para eliminar la mayor parte de los sólidos flotantes grandes, arena y grasas; tratamiento biológico con la utilización de reactores biológicos; clarificación, desinfección y post-tratamiento (cuando es requerido) y tratamiento de lodos (cuando es requerido)

Para Rincón (2008) los tratamientos biológicos son los más usados, condicionado entre otros factores por su sostenibilidad y capacidad de eliminación de varios contaminantes, además de generar productos atractivos.

El tratamiento biológico de las aguas residuales se realiza en reactores diseñados especialmente para mantener los microorganismos bajo condiciones controladas, acelerando el proceso natural de descomposición y neutralización de los residuos, antes de que las aguas sean finalmente vertidas a cuerpos receptores acuáticos.

Estas reacciones pueden ser realizadas bajo condiciones aerobias (presencia de oxígeno disuelto (OD)), anóxicas (ausencia de OD, presencia de nitratos) o anaerobias (ausencia de OD y nitratos), dependiendo de la vía de degradación empleada. Asimismo, la biomasa empleada en el tratamiento se puede mantener en suspensión o adherida a un material de soporte (Lee, 1996 y Droste, 1997, citado en Depuración biológica de las aguas residuales urbanas).

Según los autores Nodal (2001), y Pérez y Camacho (2011), los principales procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual se dividen en cinco grandes grupos, dígase aerobios, anóxicos, anaerobios, anaerobios, anóxicos o aerobios combinados y estanques o lagunajes (Tabla 5).

Dentro de los tratamientos biológicos el anaerobio es el más ventajoso, pues posee la capacidad de degradar ciertos compuestos tóxicos además de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales industriales. Es considerado además como una opción viable en el tratamiento y restauración de muchos efluentes de industrias, especialmente de aquellas con medianos y altos niveles de contaminación (Bermúdez et al., 2003).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 5: Procesos biológicos aplicados al tratamiento del agua residual

Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual	Aerobios	• Fangos activados • Lagunas aireadas • Digestión aerobia • Filtros percoladores • Filtros de desbaste • Sistemas biológicos rotativos de contacto o biodiscos (RBC) • Biofiltros activados
	Anóxicos	• Denitrificación con cultivo en suspensión • Denitrificación de película fija
	Anaerobios	• Digestión anaerobia • Proceso anaerobio de contacto (UASB) • Filtro anaerobio • Lecho expandido
	Anaerobios, anóxicos o aerobios combinados	• Proceso de una o varias etapas
	Estanques o lagunajes	• Compuesto por lagunas aerobias • Lagunas facultativas • Lagunas anaerobias • Lagunas de maduración o terciarias*

*Los procesos en estanques o lagunajes se pueden combinar también con los procesos anteriormente mencionados. Fuente: Elaborado a partir de Nodal (2001), y Pérez y Camacho (2011)

Precisamente, la degradación anaerobia (DA) es un proceso biológico degradativo, y citando Rincón (2008) a Muñoz (1987)

“... es un proceso en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno. En la digestión o degradación anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio”. Según Rincón (2008), los procesos anaerobios presentan ventajas y desventajas con respecto a los procesos aeróbicos. Entre las ventajas más significativas podemos citar las siguientes, consumen poca energía, y al mismo tiempo son sistemas productores de la misma, debido a la producción de metano y a su utilización en la generación de vapor; contribuyen a la disminución de gases de efecto invernadero si el metano producido sustituye a una fuente no renovable de energía; los sistemas modernos pueden manejar contenidos de materia orgánica volumétrica disuelta en el agua residual de hasta 15 kg DQO/m³*d; poseen facilidad de arranque de operaciones después de un período de

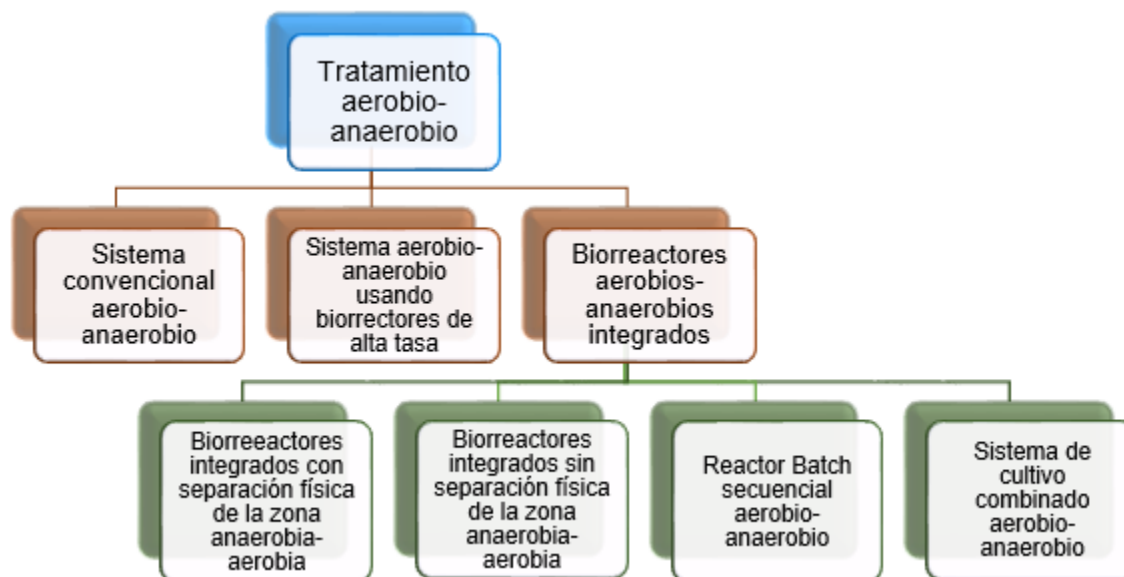
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

suspensión de actividades, también los costos e inversión son relativamente bajos, ya que no requieren de aeradores como los sistemas aerobios.

En cuanto a sus desventajas, no es un sistema satisfactorio para la remoción de nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P), es relativamente sensible a las variaciones de carga y el arranque de dichas instalaciones es mucho más lento que el de un sistema aerobio, generación de malos olores durante el tratamiento, y puede requerir de un sistema de pos tratamiento dependiendo del origen del agua a tratar.

Existe una gran cantidad de aguas residuales que pueden ser tratadas a través de procesos anaerobios como es el caso de lixiviados de rellenos sanitarios, efluentes provenientes del proceso de refinación de azúcar, de la industria del papel, farmacéutica, aguas residuales domésticas, entre otras. Los procesos anaerobios son atractivos especialmente en el tratamiento de aguas residuales con altas cargas orgánicas y se caracterizan por la producción de pocos lodos de desechos, además de ser capaces de responder a la alimentación de agua residual después de largos períodos sin adición de sustrato. (Márquez y Martínez, 2011)

Estos sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales no pueden emplearse como único medio de tratamiento, deben ser combinados con procesos aerobios para alcanzar la calidad requerida para su descarga (Márquez y Martínez, 2011). En la Figura 5 se muestran combinaciones de estos sistemas.³



³ Los reactores de alta tasa son aquellos sistemas que separan el tiempo de retención hidráulico (TRH), del tiempo de retención celular (TRC). (Márquez y Martínez, 2011)

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 5. Tipos de sistemas combinados de sistemas aerobios- anaerobios. Fuente: Tomado de Chan et al. (2009)

Los reactores anaerobios pueden ser clasificados de diferentes maneras, pero la forma más general es agruparlos y clasificarlos según su generación. De acuerdo con la autora Rodríguez (2009) se registran tres generaciones de reactores anaerobios, con la característica de que en cada una se reduce el tiempo de retención hidráulico (TRH) y mejora el contacto entre el lodo y el sustrato, esto hace que el proceso sea más eficiente. Los reactores biológicos para tratar aguas residuales, pueden ser divididos además en dos grandes grupos atendiendo al tipo de crecimiento microbiano, estos son:

1. Reactores con la biomasa no unida a un soporte
2. Reactores con la biomasa unida a un soporte

En el primer caso la biomasa está constituida por bacterias formando una película sobre un soporte inerte, mientras que en el segundo estas bacterias deben ser capaces de formar estructuras (flóculos o gránulos) que les permitan permanecer en el reactor, donde buena parte de la eficiencia del proceso dependerá de la capacidad del inóculo para formarlos (Tabla 6) (Márquez y Martínez, 2011).

Tabla 6: Clasificación de algunos reactores anaerobios

Reactores de 1 ^{ra} generación	Reactores de 2 ^{da} generación		Reactores de 3 ^{ra} generación
	Reactores con la biomasa no unida a un soporte	Reactores con la biomasa unida a un soporte	
Lagunas anaerobias	Lodo activado anaerobio	Lecho fijo	Reactores de lecho fluidizado o expandido ⁴
Tanque Séptico	UASB	Filtro anaerobio con carbón activado	
Tanque Imhoff	EGSB	Inmovilización de microorganismos	
	De mezcla completa (CSTR)	Asociado a partículas suspendidas	
	Con ascensión de gas	Reactor de contacto	
	Modificado de alta velocidad	Columna de plato	
	Membrana		
	Flujo horizontal con deflectores		

Fuente: Elaborado a partir de Depuración biológica de las aguas residuales urbanas

⁴Algunos autores como Fernández Granada clasifican a los reactores de lecho fluidizado o expandido como de segunda generación y dentro del segundo grupo, con la biomasa inmovilizada o alrededor de superficies inertes.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Varnero (2011) citado por Carrasco (2015) clasifica los reactores en dos grandes tipos: los de baja y alta velocidad. En los primeros, los sustratos y materias primas no se encuentran mezclados ni existe un control acabado de las condiciones de operación. En general, estos reactores tienen una baja tasa de carga orgánica (aproximadamente de 1-2 [kg DQO/m³ día]) y no son adecuados para el uso energético por su baja productividad. Los reactores de alta velocidad poseen dos estrategias principales de diseño: el uso de un lecho fijo para el crecimiento de los microorganismos o de uno suspendido.

En la opinión de autores como Lorenzo y Obaya (2006) ninguna de las tecnologías mencionadas anteriormente es definitivamente mejor que las otras, sino que cada una presenta ventajas y desventajas en relación a costos de construcción, costos de operación, uso de la energía, tamaño, facilidad de operación, estabilidad, etc. Con base en esto se debe seleccionar la tecnología que mejor se adapte a las condiciones específicas, con el fin de lograr la máxima protección a la salud del ser humano y del ambiente, al mismo tiempo que costos de construcción y operación sean los mínimos.

En términos generales no se puede hablar de un esquema típico de tratamiento y menos aun cuando se trata de residuales industriales. El tratamiento puede ser muy variado e incluso se pueden obviar etapas completas.

Los requisitos, según Díaz (1987), que deben cumplir todos los tratamientos de residuales son los siguientes:

- Ser efectivos en la remoción de materia orgánica.
- Ser relativamente económicos en lo referente a los costos de inversión.
- Ser energéticamente aceptables.
- No deben aportar impurezas adicionales al agua tratada.

El factor más importante en el análisis global de las alternativas posibles para el tratamiento de las aguas residuales es el estudio económico de pre factibilidad del arreglo de tratamiento que resulte más adecuado desde el punto de vista técnico, sin dejar de tener en cuenta la opinión de Morrell y Jacinto, con la cual coincide la autora de la investigación al expresar que:

“En cualquier caso, el éxito dependerá de los criterios de calidad que se apliquen y exijan durante la materialización de la producción en el área tecnológica, sin lo cual los sistemas podrían nacer condenados al fracaso o a un bajo nivel de eficiencia” (Morrell y Jacinto, 2004).

Una tendencia actual en lo relativo al tratamiento de residuales es lo que se conoce como tratamiento conjunto. Para llevar a cabo el tratamiento conjunto, es preciso que cada

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

emisor someta a sus residuales a un tratamiento primario y en la planta de tratamiento conjunto, en unión de los restantes residuales, se completa el tratamiento.

Para la concepción y diseño de instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales de los centrales azucareros es necesario caracterizar los residuales de la industria específica, debido a que en cada caso varían según la forma en que se realice el proceso de producción y del grado en que se recirculen o se reciclen los residuales. También se deben tener en cuenta los caudales y características de las diferentes corrientes para valorar la necesidad de tratamientos locales (Barreto, 2005).

Investigaciones realizadas por Morrell y Jacinto (2004) para la purificación de las aguas residuales de los centrales azucareros a escala piloto en un reactor tubular inclinado bajo régimen estacionario, arrojaron resultados favorables, aún para tiempos de residencia relativamente bajos, pudiendo actuar este conjuntamente con los sistemas de lagunas existentes.

Uno de los factores que más dificulta el tratamiento de los residuales de la industria azucarera es el pH, pues para los tratamientos biológicos se requiere un rango de 6,5 a 7,5 y estas aguas muestran valores entre 4,9 y 6,1. Investigaciones realizadas por Barreto et al. (2004), plantean el empleo de un método de neutralización a partir de utilizar la sosa cáustica residual de la limpieza de los equipos de evaporación.

Los autores Barreto et al. (2004) y Oña (2013) consideran que la causa fundamental que origina la acidez de estos residuales es el vertimiento de azúcar a las zanjas y no la incidencia del ácido empleado en las limpiezas, ya que estas se realizan de manera cíclica cada doce días, mientras el vertido de productos azucarados al proceso es diario, incidiendo en el deterioro de las mismas por los procesos fermentativos que se producen. Estudios realizados por investigadores cubanos sobre esta problemática en centrales de la provincia de Matanzas, demostraron niveles de pérdidas estimados en 10446 toneladas de azúcar base 96, que representó pérdidas económicas de 2 872 650 USD.

Otra experiencia interesante es la desarrollada por los autores Hampannavar y Shivayogimath (2010) en un reactor UASB para tratar aguas residuales de la industria azucarera en la India y con características promedios para los parámetros pH: 5,2 – 6,5; Sólidos Suspendidos Totales: 760 – 800 mg/L; Sólidos Suspendidos Volátiles: 173 – 2190 mg/L; DQO: 1000 – 4340 mg/L y DBO₅: 350 – 2750 mg/L, la misma mostró la factibilidad técnica con una carga orgánica de 16 g de DQO/L.d. la eficiencia de remoción de la DQO fue del 89% en un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 6 horas, además el biogás

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

obtenido es rico en metano (más del 75%) y puede ser producido en una tasa de 4,66 L/L.d., demostrando la viabilidad técnica del proceso anaerobio de contacto (UASB) aplicado.

Conclusiones parciales:

- La PmL es un enfoque de gestión orientada a la producción que lleva implícito la mejora sustantiva en la competitividad de las empresas y promueve procesos de mejora continua a través de la implementación de buenas prácticas.
- Los efluentes de la industria azucarera se caracterizan por elevada DQO, la generación de grandes volúmenes, bajo pH y presencia de sólidos en suspensión que hacen clasificarlos como altamente agresivos al medio ambiente con énfasis en los recursos suelo y agua.
- Existen varias tecnologías para el tratamiento anaeróbico de los residuales líquidos de la industria, sin embargo, dos de ellas destacan entre todas: las lagunas de estabilización y el reactor de flujo ascendente anaerobio de lecho de lodos (UASB), el primero de ellos por su empleo generalizado, el segundo por su efectividad demostrada ante las características propias de los residuales líquidos de la industria azucarera.

Capítulo 2.



Capítulo II: Materiales y métodos

Este capítulo tiene como objetivo caracterizar la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” considerando aspectos como: ubicación, misión, visión, objeto social, productos, y los procesos que intervienen en la obtención de azúcar crudo. También se presenta un diagnóstico ambiental de la UEB, con énfasis en el vertimiento de residuales líquidos y su tratamiento. Se explica además la metodología de PmL a seguir para dar solución a los problemas encontrados (Figura 6).

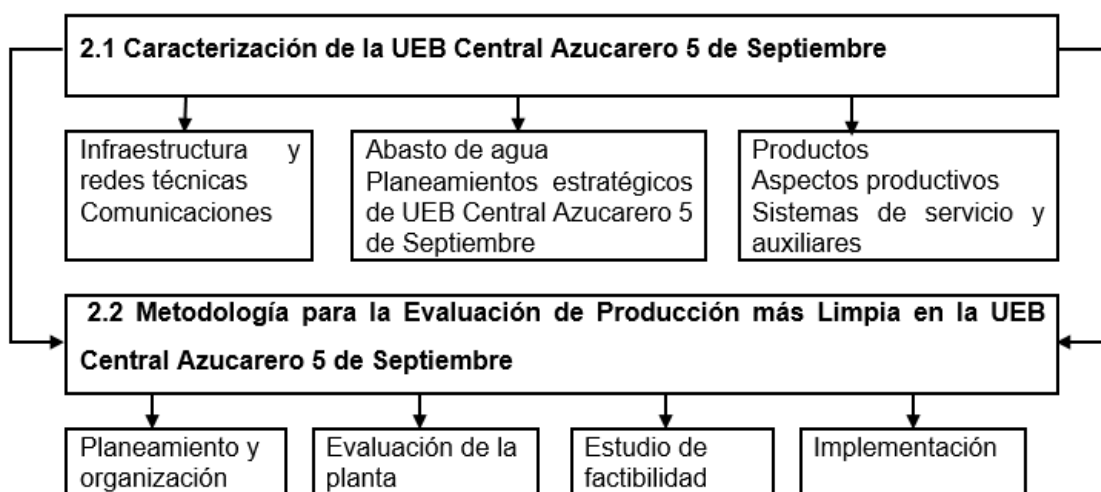


Figura 6: Estructura capitular. Fuente: Elaborado a partir de Mata (2016)

2.1 Caracterización de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

La UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” está situada al noroeste de la provincia de Cienfuegos, cerca del poblado de Turquino en el municipio de Rodas, Km. 208 de la Autopista Nacional. Limitan sus áreas cañeras por el norte con el río Hanábana, límite de la provincia de Cienfuegos con Villa Clara, hacia el sur con el poblado de Rodas y áreas cañeras del Central Azucarero “14 de Julio”, al este con plantaciones de los centrales “Ciudad Caracas”, “Elpidio Gómez” y la Granja Agropecuaria “Ramón Balboa”, y al oeste con la Pecuaria Aguada y áreas de la Empresa Agropecuaria “1^{ro} de Mayo.” El macizo de sus plantaciones cañeras es atravesado de este a oeste por la Autopista Nacional (Figura 7).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 7: Imagen de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”. Fuente: Tomado de Diagnóstico de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”.

El central está comunicado por vía férrea con áreas de la Granja Agropecuaria “1 de Mayo”, la UEB “Antonio Sánchez” y la red ferroviaria interior que comunica los centros de acopio y limpieza, se enlaza además con el Ferrocarril Nacional Cienfuegos-Habana, por el poblado de Jabacoa, lo cual le permite tener acceso al puerto de Cienfuegos y la Terminal Exportadora. Existe una extensa red de caminos que comunican todas las áreas cañeras con el central. La vinculación cañera con la región norte se garantiza mediante pasos automotor y ferroviario sobre la Autopista Nacional. La zona industrial está enclavada en una pequeña meseta distante 42 km de Cienfuegos y 16 km de Rodas, cabecera municipal.

Con la construcción del Central Azucarero “5 de Septiembre”, se crearon varios asentamientos poblacionales cercanos a esta instalación. El más importante y que formó parte de la inversión del central es la Comunidad “5 de Septiembre”, construida para los trabajadores del central.

La UEB “5 de Septiembre” cuenta con un área de 13186,3 ha dedicadas al cultivo de la caña formada en 12 unidades productoras, de ellas 7 Unidades Básicas de Producción de Caña (UBPC), 5 Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), un Banco de Semilla Registrado (BSR) y una Finca de Semilla Certificada (FSC).

La UEB se proyectó para procesar una norma potencial de 6900 t/d con un tiempo perdido del 15%, área cañera de 15298,0 ha, y un estimado a moler de 822250,00 t con rendimientos promedio de 75000 t/ha. El central es capaz de procesar todas sus cañas en un período de 160 días con una norma operacional de 5865 t/d, un rendimiento industrial

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

promedio del 12% y una producción de 741t/d. Los suelos son aptos para el cultivo en un 92% y es mecanizable al 78%.

En estos momentos su norma potencial es de 4600 t por día y norma operacional de 3910 t/d, debido a ajustes de redimensionamiento por la disponibilidad de caña. Es capaz de procesar todas sus cañas en un período de 113 días con una norma operacional de 3910 t/d, un rendimiento industrial promedio del 11,20% y una producción de 437,92 t/d de azúcar, proveniente de un área cañera de 13186,3 ha y un estimado a moler de 441630 t/d, llevando a zafra el 75% del área estimada en junio 30, con rendimientos promedio de 45 t/ha. Los suelos de la empresa son aptos para el cultivo en un 100% y es mecanizable al 100%.

Infraestructura y redes técnicas

En la empresa existen varias líneas eléctricas de 13 kV, la primera sale desde la subestación de Turquino – Central, Centro de Acopio El Doble, la segunda de Rodas - Agroquímico - Jabacoa. La tercera línea tiene su inicio en Cartagena y continua hasta Santiago de Cartagena – UBPC Carrasco, Cartagena – UBPC Ciruela - Malezas .La cuarta se origina en Lajas hasta las UBPC Margaritas – Dolores.

Comunicaciones

Con respecto a la comunicación vial, la vía principal es la Autopista Nacional que cruza la UEB de este a oeste, la otra carretera es la de autopista – Cartagena – Circuito Sur, la tercera vía es la de Autopista – Santiago de Cartagena, estas vías son asfaltadas y los restantes caminos internos son de tierra, además existen las comunicaciones telefónicas con líneas aéreas así como por vía celular.

Abasto de agua

La fuente de abasto de agua del central y de la comunidad adyacente es el río Damují, el cual en época de sequía es inyectado por la presa “El Salto”, que se encuentra al sur oeste de la UEB, y que es bombeada por una estación, hasta la planta de tratamiento, donde se eliminan los sedimentos y se le da cloración. En el central existe otra planta que elimina la dureza temporal y permanente (sales), para lograr mejor eficiencia en calderas.

Planeamientos estratégicos de UEB Central Azucarero 5 de Septiembre

El objeto empresarial de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” es:

- Producir y comercializar de forma mayorista azúcares y mieles, derivados, subproductos tales como cenizas, cachaza, bagazo, residuos agrícolas de la cosecha y otros provenientes de la agroindustria y energía eléctrica en pesos moneda nacional.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

- Producir y comercializar de forma mayorista equipos, partes, piezas y repuestos de la agroindustria, en moneda nacional.
- Prestar servicios de maquinado, instrumentación y enrollado de motores eléctricos en pesos moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista, viandas, hortalizas, granos, cereales, frutas, producciones forestales (posturas forestales y frutales, madera aserrada y rolliza, carbón vegetal y resinas), así como producciones pecuarias, avícolas y huevos, pescado, leche vacuna y de cabra y derivados de la leche, cumpliendo las regulaciones vigentes por los Ministerios de la Agricultura y de la Industria Alimenticia, todos ellos en pesos moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista, medicina natural y alternativa de acuerdo con las regulaciones establecidas por el Ministerio de Salud Pública, Incluyendo la venta minorista a la población, semillas de caña certificadas, botánicas y agamicas, abonos orgánicos y biofertilizantes, plantas ornamentales y flores, condimentos secos y frescos, elementos prefabricados de hormigón y materiales de construcción, productos y artículos del procesamiento de la madera y otras producciones complementarias de la agroindustria en moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista a los trabajadores, productos agropecuarios y a la población, a través del Mercado Agropecuario Estatal (MAE) y cuando este no exista en puntos de ventas excepcionalmente aprobados por el Consejo de la Administración del territorio en moneda nacional.
- Procesar y comercializar de forma mayorista productos de la industrialización, viandas, hortalizas, granos, cereales y frutas en moneda nacional CUP.
- Producir y comercializar de forma mayorista productos acuícola y derivados del proceso de industrialización y productos cárnicos cumpliendo las regulaciones vigentes por el Ministro de la Industria Alimenticia, en moneda nacional CUP.
- Comercializar de forma mayorista chatarra a empresas de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas en ambas monedas, pesos cubanos convertibles CUC y moneda nacional CUP
- Prestar servicios de reparación, mantenimiento eléctrico y de instrumentación a equipos de tipo automáticos, informáticos y de comunicación, además de reparación y mantenimiento constructivo a entidades; y a su vez a los trabajadores asociados o partícipes del sistema y proceso en el Ministerio del Azúcar,

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

construcción y mantenimiento de caminos, viales y obras hidráulicas, de reparación, mantenimiento y montaje industrial, de reparación y mantenimiento a los medios y equipos de mecanización agrícola, automotor, ferroviario y sistema de riego y drenaje, así como de riego de agua, porte, alza y de la caña a las entidades agropecuarias, de pesaje, de beneficio de la caña, carpintería y partería, de transportación de carga por vía automotor, montaje de máquina de riego, de preparación de suelo, de alquiler de equipos especializados de construcción ,equipos automotores y almacenes y ofrecer servicios de comunicaciones a las entidades del ministerio del Azúcar ,a otras entidades y a la población , de asesoría en asuntos agrícolas , servicios económicos-contables y financieros, servicios generales a comunidades y bateyes, de transportación y alimentación a entidades y a trabajadores, servicios personales y de reparación de enseres menores a sus trabajadores, de alquiler de locales a entidades y a los trabajadores y servicios de alimentación asociados a estos y ofrecer servicios de alojamiento no turísticos y de alimentación a los trabajadores y entidades, todos ellos en pesos moneda nacional.

- Brindar servicios de comunicación montaje, reparación y mantenimiento constructivos a sus trabajadores y a entidades en pesos moneda nacional.
- Prestar servicios de desmonte, remodelación y o rehabilitación de viviendas, edificaciones, instalaciones y otros objetivos existentes de pequeñas dimensiones a sus trabajadores y entidades en pesos moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista productos derivados de la harina solo a entidad del sistema del Ministerio del Azúcar en pesos moneda nacional.
- Ofrecer servicios de adornos florales vinculados al alquiler de locales a entidades y a sus trabajadores en moneda nacional.
- Brindar servicios de protección y reparación de torres de alta tensión electricidad en moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista medios biológicos y de forma minorista a productores de la agricultura urbana en moneda nacional.
- Comercializar de forma mayorista productos y materiales de lento movimiento y ociosos en pesos moneda nacional.
- Prestar servicio de pista de aviación en pesos moneda nacional.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

- Brindar servicios de turismo azucarero de a través de la Empresa de Ingeniería y servicios técnicos azucareros y proyectos azucareros en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.

Su misión es garantizar la producción y cumplimiento de los programas de recuperación cañeras, azúcar y sus derivados, producciones agropecuarias, forestales, con altos rendimientos agrícolas e industriales, la disminución de los costos y la calidad requerida alcanzando niveles óptimos de transportación con una adecuada capacitación, atención al hombre y preservación del medio ambiente.

Su visión está declarada como una empresa de producción azucarera que se diferencia por la calidad del azúcar, su eficiencia energética, la diversidad de sus derivados, entrega de altos volúmenes de energía eléctrica a la red y una alta eficiencia en el trabajo sobre la base de una planificación rigurosa reflejada por sus objetivos estratégicos.

Productos

La producción principal de la UEB es el azúcar crudo, el cual se revende a la Operadora de Azúcar y sus Derivados, para venderla luego con beneficios. Además de este, el central obtiene productos colaterales como: cachaza, energía eléctrica y miel final. En el caso de la cachaza esta puede ser utilizada como abono en las plantaciones cañeras y en la elaboración de alimento animal. La energía eléctrica generada en el central es suficiente para autoabastecerse a sí mismo y también para vender una parte a la red eléctrica a un precio que varía en dependencia del horario. El consumo de energía de la UEB se estima en 7MW/h, y aunque el central cuenta con tres turbogeneradores con una capacidad de generación de 4MW/h, actualmente se encuentran funcionando solo dos de ellos. Por su parte, la miel final es vendida a ALFICSA como materia prima. En la tabla 7 se muestran los productos y clientes respectivos de la UEB.

Tabla 7: Productos y clientes de la UEB Central Azucarero 5 de Septiembre

Producto	Cliente
Azúcar crudo	Operadora de Azúcar y Derivados
Miel final	ALFICSA
Energía eléctrica	UNE (Unión Nacional Eléctrica)
Cachaza	Consumo en las Unidades de la Empresa

Fuente: Elaborado a partir de Besú (2009)

Aspectos productivos

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de producción de azúcar crudo en la UEB está compuesto por varias actividades que se pueden agrupar en las siguientes áreas: recepción y preparación de la caña, extracción del jugo, purificación, evaporación, cristalización, centrifugación y almacenamiento, (Figura 8). Además de estos, existen sistemas auxiliares y de servicio como son la planta de vapor y la planta eléctrica.

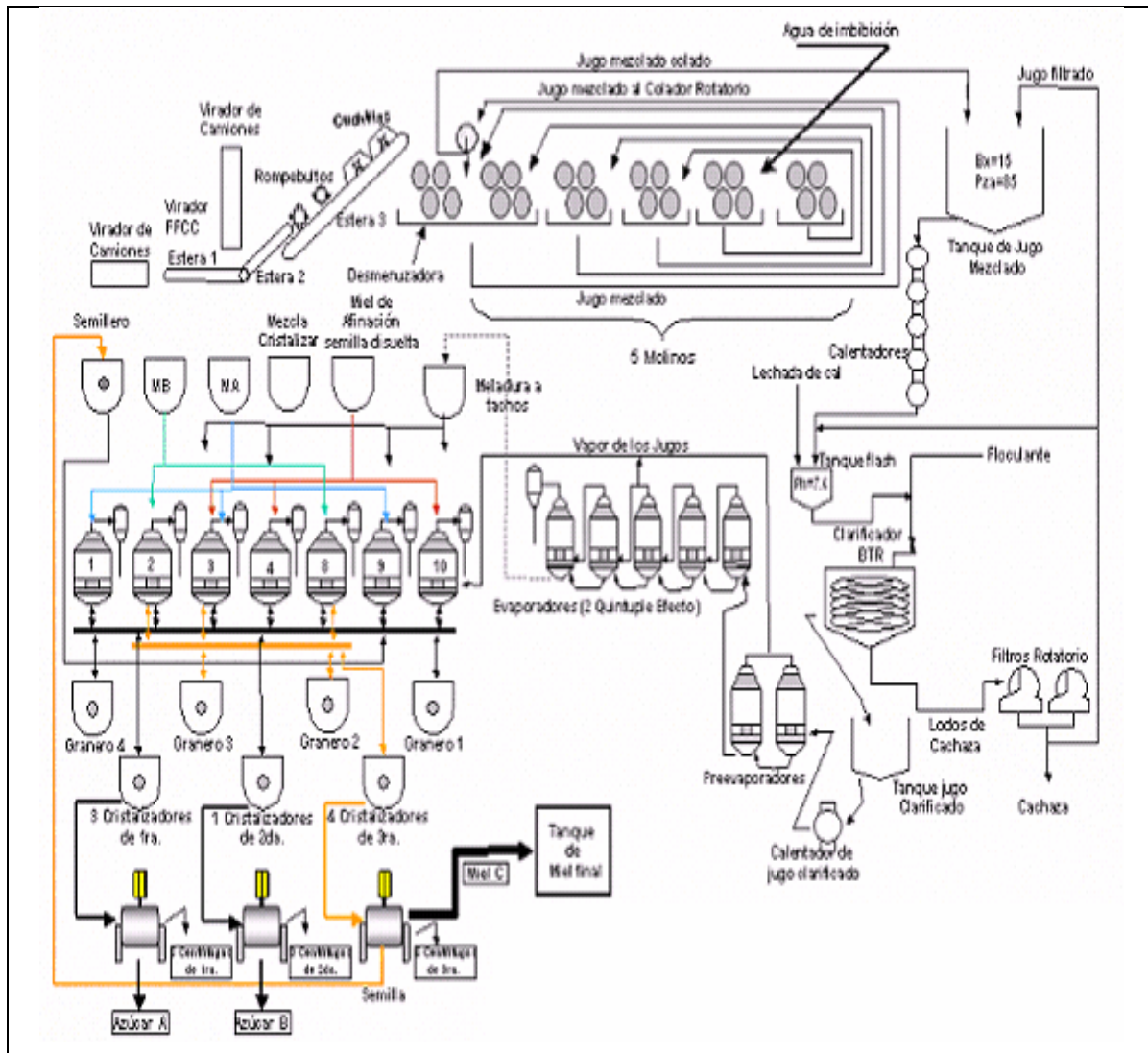


Figura 8: Flujo del proceso de producción de azúcar crudo. Fuente: Tomado de Socorro (2012)

En el área de recepción de la caña se recibe la materia prima, que es pesada mediante básculas para camiones y carros de ferrocarril, más conocido por basculador; este se encuentra situado en una nave de estructura de acero de 16 m de ancho por 96 m de largo, cubierta de zinc galvanizado acanalado y dotada de una grúa viajera de 10 t. Posee

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

además dos viradores de plataforma para camiones y dos laterales para ferrocarril, y cuenta con dos cuchillas picadoras de caña con machetes tipo zuazaga.

El Tándem es una de las áreas de mayor importancia dentro de la industria, es donde se realiza la molienda, es decir la extracción del guarapo a la caña, por lo que su trabajo es el punto de partida del balance de masa y energía de la fábrica.

Las funciones de un Tándem son moler la cantidad de caña normada, extraer el máximo contenido de Pol que tiene la caña⁵, y entregar el bagazo para combustible de las calderas. El Tándem está compuesto por cinco unidades de molienda tipo Hamilton movidos de forma individual por motores eléctricos. Para el sistema de imbibición, la temperatura del agua es de 70 °C y se adiciona entre los molinos 4^{to} y 5^{to}. El jugo de las dos primeras unidades es bombeado por una bomba intupible horizontal a un colador rotatorio que separa el bagacillo del jugo, el sólido es recogido por un transportador tipo sinfín que lo conduce al primer molino y el jugo es tomado por una bomba centrífuga (existen 2) y lo envía al tanque de jugo.

El área de purificación recibe el jugo crudo o mezclado, lo somete a procesos de alcalización y calentamiento para poder desechar de él aquellas sustancias indeseables tales como el bagacillo, la tierra y un conjunto de no azúcares, en forma de cachaza y poder entregar así un jugo clarificado con indicadores de calidad óptimos.

Tiene por objetivo fundamental, alcanzar la mayor separación posible de impurezas presentes en el jugo logrando que en su mayoría salgan en forma de cachaza seca. En esta área se realizan diferentes procesos:

- Preparación de la lechada de cal: El sistema cuenta con un almacén de cal que se encuentra dentro de la nave de purificación, la cal en bolsas es recibida en camiones y transportada en parles hasta el pasillo del tanque de preparación (provisto de un agitador vertical de paletas) mediante un diferencial donde es tomada por el operador y es vertido cada saco, por la parte inferior del recipiente se extrae la arena y las piedras mediante un conductor de arrastre inclinado y se conducen al exterior, la lechada de cal concentrada se bombea al tanque cilíndrico vertical en donde se ajusta la concentración mediante la adición de agua; la cal diluida se bombea hasta el proceso de alcalización.
- Calentamiento del jugo: los calentadores de jugo mezclado trabajan en bancos de dos unidades, uno para el calentamiento primario donde se eleva la temperatura entre 65

⁵ Se refiere a la cantidad de pol (sacarosa) extraído en el jugo mezclado % pol (sacarosa) en la caña.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

y 70°C, y luego se completa el calentamiento con los rectificadores alcanzándose una temperatura entre 105 y 108°C, el jugo caliente se envía al tanque flash en donde se alcaliza.

- Alcalización: Este es el proceso mediante el cual se encala el guarapo, por medio de la adición de lechada de cal diluida (Proceso complementario al calentamiento para efectuar la clarificación), ésta se prepara en la planta de cal situada aladaña a la planta de purificación.

- Decantación del jugo: Es la operación de ingeniería a la que se somete el jugo en los clarificadores después de alcalizado, para completar la reacción de formación y sedimentación de los flóculos de fosfato tricálcico, esta operación se realiza en tres clarificadores del tipo BTR de 136,7 m³ cada uno, a los cuales se le asocian el tanque flash y el colador de jugo clarificado. El jugo clarificado después de colado, para eliminarle los posibles sólidos sobrenadantes (generalmente bagacillo) se bombea a los calentadores de jugo clarificado, los cuales están situados en el área de calentadores, aquí se calienta hasta la temperatura de 110°C con vapor de escape procedentes de los turbos generadores, éste (el jugo caliente) se bombea hasta los pre-evaporadores.

- Filtración de la cachaza: La cachaza que obtenemos producto de la decantación de los clarificadores, se mezcla con bagacillo (de 7 a 8 kg por tonelada de caña, procedente del cernidor de bagacillo situado en el conductor de bagazo que va a los generadores de vapor) en un premezclador, esta mezcla se envía por gravedad al cachazón, de este se bombea a los filtros de tipo Oliver que son tres (solo dos trabajan, el otro se encuentra incompleto). Los jugos filtrados que deben tener diferentes calidades referidas a su color dependiendo del vacío de cada vasija, son enviados al tanque de jugo mezclado. La cachaza desprendida del tambor de los filtros cae en un transportador de arrastre de tablillas de madera que entrega a una similar en forma de L que tiene la misión de transportarlo a la tolva de donde sale del central en camión o en carreta.

En la operación de evaporación se logra concentrar el jugo desde 15,5 hasta 65 °Brix a partir de la pérdida del 73 al 75% del agua presente en el jugo en evaporadores a simple y múltiple efecto, para ello se cuenta con un esquema que permite la obtención del jarabe o meladura y que se describe a continuación:

- a) Dos Pre-Evaporadores de 1003 m² de superficie calórica, los vapores producto de la evaporación son utilizados para alimentar a los tachos y los calentadores rectificadores. Para evitar posibles arrastres se sitúan separadores de arrastres en

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

la línea, de modo que complementen la separación que ya ocurrió dentro del vaso, con el propósito de mantener los condensados libres de impurezas sobre todo azúcar, y recuperarlos para alimentar los generadores de vapor; el condensado propio como es de vapor de escape se recupera todo.

- b) Dos cuádruple efecto de 3532 m² de superficie calórica (uno en limpieza) compuesto por dos vasos de 1003 m² y otros dos de 817 m², por supuestos los condensados de este se recuperan sin problemas, como el segundo vaso se alimenta del vapor generado en el primero, se tiene que mantener un estricto control de sus condensados para desviarlo tan pronto se detecten trazas de sacarosa, (producto de arrastres de jugo) al tanque de agua contaminadas.

La cristalización se realiza en los tachos, recipientes al vacío de un solo efecto; estos reciben la meladura concentrada por los evaporadores y a partir de una secuencia de operaciones básicas de ingeniería producen la semilla necesaria para la fabricación del azúcar granulado. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

El área de centrifugación recibe la masa cocida de los tachos, la acondiciona en los mezcladores para posteriormente someterla a un proceso de centrifugación y separar los granos de azúcar producidos de su licor madre.

Esta área entrega azúcar y miel final como productos aptos para la comercialización y además retorna al proceso aquellos productos intermedios que pueden ser agotados.

La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de dos cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final (melaza) que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes. El azúcar es transportado a través de conductores de banda de gomas hasta la tolva donde es pesado con básculas electrónica; luego se embarca en las tolvas de ferrocarril para trasladarla a la Terminal exportadora.

Sistemas de servicio y auxiliares

En el central, la energía principal que se utiliza en el proceso proviene del vapor generado en las calderas o sea planta de vapor. La UEB cuenta con dos calderas una EKE (Alemana) del tipo Stirling de 45 t/h y otra que fue también EKE pero se modificó, elevando su generación hasta 60 t/h.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

La planta eléctrica está compuesta por turbogeneradores de vapor, paneles de fuerza, control, mando, protección y señalización encargados de generar la electricidad consumida por los equipos del central y en muchos casos por los consumidores del Unión Energética Nacional (UNE). Esta es una de las áreas de mayor complejidad e incidencia en el resultado final del trabajo, y junto con la planta de generación de vapor forman el bloque energético de la industria. Cuenta con tres turbos generadores de contrapresión de 4 MW/h a 6300 V, solo trabajan dos, consumen vapor directo de 23 kg/cm² y 350°C y entregan vapor de escape de 1,76 kg/cm² utilizado en el proceso.

La planta de tratamiento químico del agua que tiene una capacidad de 80 m³/h, es la encargada de eliminarle toda la dureza al agua que alimenta las calderas y al sistema de enfriamiento en general. Esta planta cuenta con un clarificador donde el líquido es tratado con una dilución de cal y alúmina para lograr la precipitación (eliminar la dureza temporal), luego se filtra en los filtros mecánicos. Eliminada esta dureza se debe tratar la permanente, para lo cual se deja pasar el agua filtrada por los intercambiadores catiónicos, luego el agua es bombeada a un tanque cilíndrico vertical de 5000 m³, donde se distribuye de acuerdo a las necesidades.

2.1.1 Diagnóstico Ambiental de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

La UEB “5 de Septiembre” en su proceso productivo genera una serie de residuos que impactan negativamente el medio ambiente, dígase, emisiones a la atmósfera, ruido y vertimiento de aguas residuales. Estas últimas constituyen el centro de atención del presente apartado debido a su volumen y características. La UEB tiene una capacidad de molienda de 4600 toneladas diarias, con un aprovechamiento del 70%, es decir su norma operacional es de 3220 t/d. Durante los años 2007 al 2014 se aprecia un aumento gradual y sostenido de la producción, sin embargo, en los últimos cuatro años los niveles de actividad bajaron hasta cifras de 150969 toneladas de caña molida (zafra 2017-2018) con tan solo 46 días de operación (Figura 9).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

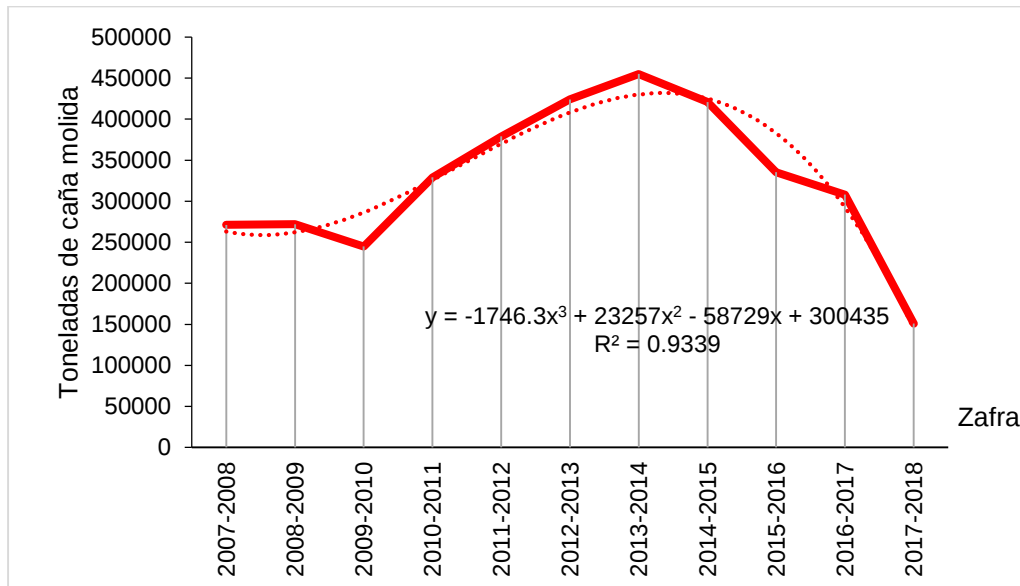


Figura 9: Toneladas de caña molida por zafra. Fuente: Elaborado a partir de informes de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

Con base en datos que se muestran en la tabla 8 obtenidos de la Empresa Azucarera Cienfuegos podemos estimar que como promedio el central 5 de Septiembre muele alrededor de 3245,63 toneladas de caña por día. Según estudios anteriores realizados en la UEB, se estimó que el central generaba como promedio 244253 m³ de agua residual/zafra (García, 2009 y Socorro, 2012). Por otra parte, según informes recibidos de especialistas en la entidad éstos afirman que por cada tonelada de caña molida se generan 0,24 m³ de agua residual, mientras que otras fuentes como Victoria (2014) indican que el volumen de agua residual generado en un central azucarero es de 0,5 a 0,6 m³ por tonelada de caña molida.

Tabla 8: Toneladas de caña molida por zafra

Zafra	Toneladas de caña molida	Días de zafra	Toneladas de caña molida por día
2007-2008	271120	84	3227,62
2013-2014	455057	141	3227,35
2017-2018	150969	46	3281,93

Fuente: Elaborado a partir de informes obtenidos de la Empresa Azucarera Cienfuegos.

Los residuales líquidos generados en la UEB responden a diversos conceptos, relacionados con la actividad que los origina dentro del proceso productivo. En la tabla 9 se muestran estas aguas residuales según la actividad y el volumen emitido de las mismas.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 9: Caudal de residuales líquidos estimados por actividad

Actividad	Agua residual	Volumen	Volumen por zafra (120 días)
Tándem o Planta moledora	Agua de limpieza	3,70 m ³ / hora	10656 m ³
Purificación/ Clarificación	Agua del lavado de los filtros (agua residual con residuos de cachaza)	0,483 m ³ /tonelada de caña molida	188116,71 m ³
Evaporación	Agua de condensados contaminados que no se reutilizan	-	-
	Agua de lavado de los evaporadores (agua con restos de HCL y NaOH)	245,5 m ³ /12 días	2455 m ³
Cristalización	Agua residual	-	-
Centrifugación	-	-	-
Volumen total de agua residual estimado por zafra			201227,71 m ³

Fuente: Elaborado a partir de informes obtenidos de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

Los valores de agua residual generada en el central por zafra fueron estimados para 120 días de operación y tomando como molida diaria promedio 3245,63 toneladas de caña para un total de 389 475,6 toneladas de caña por zafra, por lo que la generación diaria de agua residual promedio sería de 1 676,90 m³ para un total de 201 227,71 m³, para un nivel de vertimiento de 0,517 m³ / tonelada de caña molida.

Para el tratamiento de estas aguas residuales, el central cuenta con un sistema formado por tres lagunas (laguna anaeróbica, laguna facultativa y embalse regulador), situadas aproximadamente a 444 m del mismo, ver Anexo 5. Incluye además el sistema de tratamiento con trampas de sólidos y un canal que conduce los residuales hasta los registros y llega posteriormente a las lagunas. En la UEB no se practica el fertirriego, debido a que el área de plantación cañera, aledaña a la misma, la cual estaba prevista para ese fin, se decidió y aprobó reorientar su uso para la siembra de cultivos varios.

Las aguas tratadas son vertidas al arroyo “Las Casimbas”, que siguen su curso hasta la Micro presa derivadora “26 de Julio”, del Municipio Rodas (Ver Anexo 6). Es en este punto, donde se unen las aguas residuales de la UEB “5 de Septiembre”, de la Cachacera

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

y de la laguna de tratamiento del Asentamiento “Turquino”, hasta verter finalmente al río Damují. Ver Anexo 7. Este cuerpo receptor, según clasificación de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico es de clase A.

La NC 27/2012 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado. Especificaciones”, establece las especificaciones para realizar el vertimiento de aguas residuales al medio y al alcantarillado, y dispone los límites máximos permisibles para cada parámetro medido, en dependencia de la clasificación del cuerpo receptor (A, B o C). Los cuerpos de clase A (caso que nos ocupa) son aquellos ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto, y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende además a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Los parámetros DBO₅ y DQO miden con más fuerza la contaminación de los residuales líquidos y cuyo resultados se muestran en las figuras 10 y 11, los muestreos corresponden al mes de abril (en plena zafra) de los tres últimos años. En todos los casos los valores reales son oscilantes y por encima de los normados.

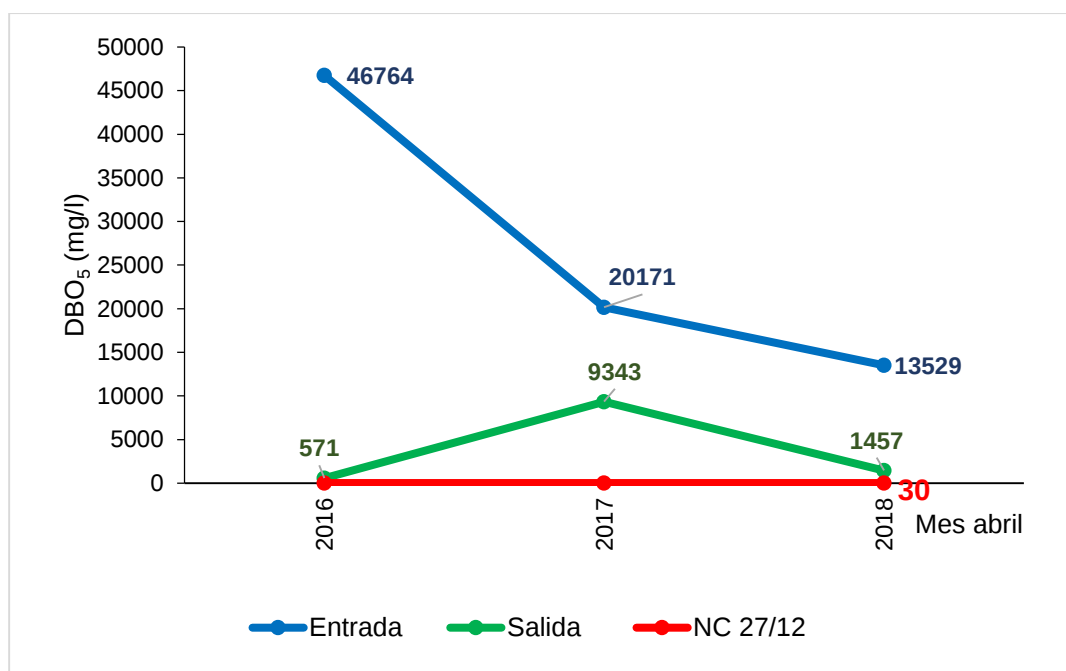


Figura 10: Comportamiento de la DBO₅ a la entrada y salida del sistema de lagunas.
Fuente: Elaborado a partir de resultados de Análisis de Laboratorio (ENAST, 2016, 2017 y 2018)

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

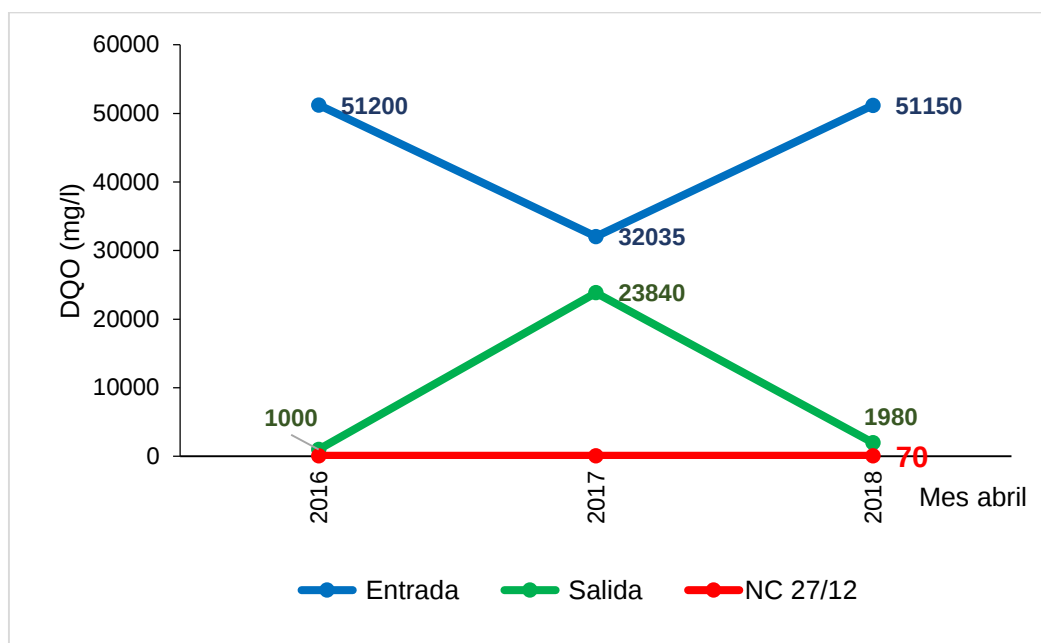


Figura 11: Comportamiento de la DQO a la entrada y salida del sistema de lagunas.
Fuente: Elaborado a partir de resultados de Análisis de Laboratorio (ENAST, 2016, 2017 y 2018)

Está establecido, además, realizar la caracterización del agua residual emitida por la industria al menos en tres momentos durante la etapa de zafra, al comienzo, mediación y al final de esta. En el año 2018 se realizaron los muestreos, en estos tres momentos y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Resultados de muestreos realizados en diferentes momentos de la zafra durante el año 2018 a las aguas residuales de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

Variable de Análisis	Unidades de medida	NC 27/2012	Primer muestreo 21/02/2018		Segundo muestreo 04/04/2018		Tercer muestreo 06/06/2018	
			Salida Industria	Salida Laguna	Salida Industria	Salida Laguna	Salida Industria	Salida Laguna
pH	U	6,5-8,5	6,23	4,94	5,81	6,63	7,65	5,87
CE	$\mu\text{S}/\text{cm} \propto \frac{1}{25}X$	1400	1697	4360	3090	5020	727	2960
SS	ml/l	1	2,0	5,0	1,5	0,6	6,0	0,8
DQO	mg/l	70	6080	10875	51150	1980	437	218
DBO ₅	mg/l	30	4100	9686	13529	1457	6671	4838

Fuente: Tomado de Informe final de resultados de ensayo, cliente Empresa Azucarera Cienfuegos, ENAST (2018)

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Al comparar los valores del laboratorio con las regulaciones de la Norma Cubana 27/2012 se puede afirmar que los efluentes de esta industria presentan de forma general todos los valores de las variables de análisis fuera de rango, solo en el segundo y tercer muestreo el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos sedimentales, de forma momentánea se estabilizan, para nuevamente irse de rango. En cuanto a la DBO₅ y la DQO son generalmente altos, a pesar de que cuando se realizó el tercer muestreo ya la zafra había terminado. Esto evidencia la existencia de elevados contenidos de materia orgánica en las aguas residuales, de acuerdo con lo planteado por la literatura para este tipo de residual. Todo lo anterior permite concluir que el agua residual generada por la industria se caracteriza por presentar valores de pH bajos y contener productos químicos e hidrocarburos. La clasificación de las aguas residuales para su empleo en riego, según pH, es de regular y mala. De ahí la necesidad de introducir acciones de mejora al proceso a través de programas de PmL que mejoren la gestión de las aguas residuales y que deben ser enfocadas a través de una metodología de trabajo específica y que se describirá a continuación.

2.2 Metodología para la Evaluación de Producción más Limpia (EPmL) en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

A partir de los estudios documentales se decide aplicar la metodología del PNUMA (ONUDI, 1999), (CNP+LH, 2009) para valorar la problemática de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” de Cienfuegos, la cual fue base de trabajos de investigación anterior desde el año 2009 al 2012 (García, 2009 y Socorro, 2012).

Para poder diseñar e implementar un “Programa de Producción más Limpia (PmL)”, es necesario poner en práctica una metodología de cuatro fases o etapas (Figura 12) (ONUDI, 1999).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

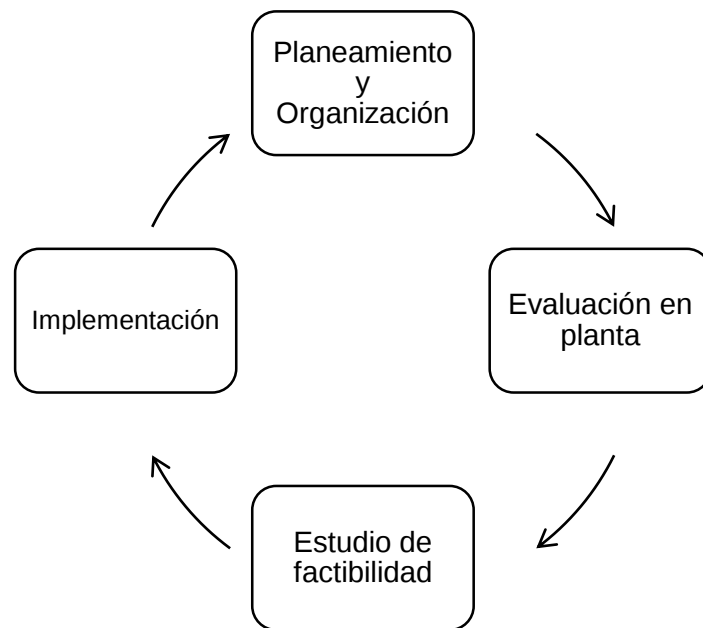


Figura 12. Etapas para la Implementación de PmL. Fuente: Tomado de ONUDI (1999)

Primera fase: Planeación y organización del programa de Producción más Limpia

En la fase de planeación y organización del programa de Producción más Limpia, se establece el compromiso de la empresa, indispensable para su implementación exitosa. También se da a conocer la iniciativa al personal y se definen los grupos de trabajo y sus responsabilidades.

Las actividades a desarrollar en esta fase son:

- Obtener el compromiso de la gerencia y de todo el personal de la empresa.
- Organizar el equipo de PmL.
- Definir claramente las metas del Programa de PmL en la empresa.
- Identificar obstáculos y soluciones para el Programa de PmL.
- Capacitar a mandos intermedios y operarios.

a) Compromiso de la gerencia y del personal de la empresa

La PmL es un esfuerzo de mejora continua que requiere que los directivos, gerentes y personal clave de la empresa o proyecto estén convencidos de sus beneficios y comprometidos con su éxito. Este convencimiento y apropiación es, por lo tanto, el primer logro a obtener.

b) Organizar el equipo de PmL

Para poder organizar un equipo de trabajo, es necesario dar a conocer al personal de la empresa los planes que se tienen respecto a la implementación de un programa de PmL.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Se debe integrar un equipo responsable del mismo, que incluya a empleados clave de las distintas áreas de la empresa, con un alto nivel de compromiso. Todas las áreas de la organización deben estar representadas para lograr una identificación exhaustiva los aspectos a mejorar y para incrementar la masa crítica capaz de aportar propuestas de solución a los problemas encontrados. El equipo será el responsable de la coordinación del Programa de PmL, de su implementación y del seguimiento de las medidas recomendadas. En lo posible, se sugiere establecer un plan de incentivos económicos acorde con los logros obtenidos. Al momento de conformar el equipo se recomienda tomar datos que serán imprescindibles para la correcta operación del programa (Cuadro 2).

Se debe designar a un representante o coordinador del equipo de PmL, que tenga la jerarquía y la autoridad necesarias para garantizar la implementación del programa. Es primordial que el coordinador asuma su tarea con un total compromiso, ya que de él dependerá el adecuado desarrollo del programa.

El coordinador debe ser capaz de motivar y persuadir al personal sobre los beneficios de la PmL y el cumplimiento de las metas trazadas. Para dar seguimiento a las actividades programadas, llevará registros de los avances, problemas y barreras encontradas; buscará soluciones a estos obstáculos; garantizará el cumplimiento de las metas e informará permanentemente a la gerencia sobre el avance del proceso.

c) Definir claramente las metas del Programa de PmL dentro de la empresa

Los miembros del equipo de trabajo deben establecer metas viables en todos los niveles de operación de la entidad. Para ello es necesario estimular la participación de todos los empleados clave y lograr un conocimiento y apropiación del proceso y de los resultados esperados. Una vez definidas las metas se debe elaborar un plan de acción que permita alcanzarlas en el corto, mediano y largo plazo. Este plan debe establecer las metas y acciones de cada área del sistema productivo, los aspectos a mejorar, los recursos logísticos con los que se cuenta y los responsables directos del cumplimiento de cada meta. Es recomendable establecer fechas de cumplimiento.

d) Identificar obstáculos y soluciones para el Programa de PmL

Al momento de establecer las metas del programa, se debe indicar los posibles obstáculos en el proceso y proponer soluciones. En esta actividad es de suma importancia la participación activa del personal clave, conocedor de las interioridades de sus respectivas áreas de trabajo.

e) Capacitar a mandos intermedios y operarios

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Es necesario realizar diagnósticos de necesidades de capacitación que permitan identificar las áreas a fortalecer para propiciar el éxito del proceso. El plan de capacitación permitirá desarrollar las bases cognoscitivas necesarias para llevar a cabo el programa de forma eficiente y obtener las metas en el tiempo establecido.

Segunda fase: Evaluación en planta

La fase de evaluación del proceso en planta es crucial en la implementación de la PmL, ya que al efectuar el reconocimiento de las distintas etapas del proceso productivo se identifican Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA). De este análisis se derivan las principales recomendaciones de mejora. Con la evaluación en planta se determina también la situación general de la empresa, los puntos críticos en el manejo de la energía, del agua y materia prima, así como sus efectos financieros y ambientales. Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción (volumen de materiales, residuos y emisiones en el flujo).
- Definir el diagrama de flujo del proceso: entradas y salidas.
- Llevar registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía.
- Organizar el equipo evaluador.
- Generar opciones.

f) Reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción

Se requiere obtener información sobre el volumen de materiales, residuos y emisiones en el flujo. Por lo tanto, mediante una lista de chequeo, se deben establecer indicadores de comparación que permitan evaluar los avances y logros obtenidos con las medidas adoptadas.

Así mismo, deben tomarse datos relevantes del proceso productivo para identificar oportunidades de mejora. Por ejemplo, si se lleva un registro de consumo ¿Cuáles son los rendimientos obtenidos por unidad de materia prima? También debe analizarse si existen manuales de procesos o planes de mantenimiento, entre otros aspectos (Anexo 8: Lista de chequeo para diagnóstico de PmL).

g) Definir el diagrama de flujo del proceso: entradas y salidas

Esta etapa consiste en evaluar las entradas y salidas en las distintas fases del proceso productivo, para poder identificar los residuos generados y definir los indicadores para su monitoreo. Al recorrer, analizar y diagramar el flujo del proceso (Figura 13) se podrá visualizar los espacios físicos destinados para cada área, definir si la secuencia de las

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

acciones es la más conveniente y generar las recomendaciones pertinentes. El diagrama de flujo es uno de los elementos básicos para establecer indicadores productivos y de eficiencia en el uso de los recursos. Se recomienda describir y cuantificar, para cada una de las fases del proceso productivo, todas las entradas, salidas y costos asociados.

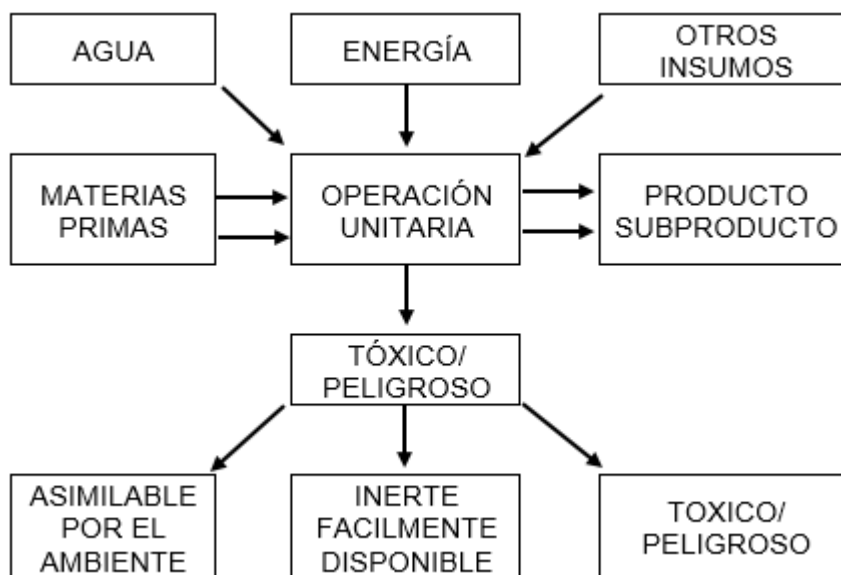


Figura 13: Diagrama de entradas y salidas. Fuente: Elaborado a partir de CITMA et al. (1998)

h) Llevar registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía

Para establecer los registros y mediciones de materias primas, consumo de agua y consumo energético debe diseñarse un recorrido por la empresa (GTZ, 2007 citado por CNP+LH et al., 2009), a lo largo del cual se resuelvan las siguientes interrogantes:

¿Cómo debe ser el recorrido por la empresa? En el Anexo 9, “Guía metodológica para visitas de diagnóstico rápido” se da algunas recomendaciones para el recorrido. Durante el recorrido se recomienda seguir el flujo del proceso, iniciando por el almacén de los insumos.

¿Cuánto debe durar el recorrido?

¿Qué información se requiere de la empresa antes de iniciar el recorrido? (ejemplo: costos para insumos y salidas, programación del recorrido, participación de otra(s) persona(s) de la empresa, etc.).

¿Qué áreas podrían ser de especial interés?

¿Qué personas deben entrevistarse durante el recorrido (ejemplo: operarios)? ¿Cómo y con qué objetivo?

Se debe contar con toda la documentación requerida para facilitar la identificación de indicadores de comparación, por ejemplo: recibos de consumo de energía, consumo de

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

agua, compra de materiales, controles de inventario, etc., así como realizar mediciones *in situ* de aspectos de relevancia como niveles de iluminación, niveles de sonido en cuartos de máquinas, volúmenes de aguas residuales, etc.

Al momento de organizar el recorrido por la empresa, se debe considerar la participación del jefe de planta y del jefe de mantenimiento, así como sostener entrevistas con los encargados de bodega, de inventarios, de contabilidad de costos, operadores de equipo, etc.; ya que son los más indicados para identificar detalles sobre el movimiento diario de las entradas y salidas del proceso.

- Organizar el equipo evaluador

Se debe organizar un equipo evaluador conformado por empleados competentes, responsables y experimentados en donde quede representada cada etapa del proceso industrial. Este equipo deberá realizar un recorrido coherente con el ordenamiento del proceso productivo, es decir que se deberá iniciar con la recepción de materias primas e insumos auxiliares y finalizar con la entrega del producto o servicio. Se deberán establecer las funciones de los miembros del equipo evaluador (una persona puede asumir varias responsabilidades).

- Coordinador del equipo: debe preparar la introducción, presentación, cierre, desarrollo de la visita de acuerdo a la planificación, organización de los horarios, etc.

- Responsable(s) de las listas de chequeo: deberá alistar las listas de chequeo necesarias para cada área visitada.

- Responsable(s) de las estadísticas de insumos, residuos y de sus respectivos costos en el proceso de producción: deberá alistar los datos cuantificables de volúmenes y costos de materia prima, agua, residuos, etc. y calcular diferentes escenarios de ahorro.

- Responsable(s) de los flujos de materiales y energía: sistematizará las etapas del proceso, sus entradas y salidas para la preparación de los diagramas de flujo.

- Observador: deberá evaluar la interacción del grupo y los procesos de comunicación (GTZ, 2007).

- i) Generar opciones

Al momento de realizar el recorrido por la empresa, se deben identificar puntos críticos en las distintas áreas del proceso, haciendo énfasis en el uso eficiente de los recursos energía, agua y materia prima; así como en la generación de residuos de producción. Para esto, previo a realizar el recorrido, el equipo tendrá que tener claridad sobre los aspectos a evaluar y los datos a recopilar. Se recomienda elaborar un cuestionario que facilite la evaluación de los procesos durante el recorrido.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de la planta generará información sobre metas e intervenciones, que se incorporarán en el plan de acción. Dichas metas deberán ser ambiciosas dentro de los límites de la viabilidad económica social y ambiental de la empresa.

La campaña de divulgación y motivación del programa de PmL dentro de la empresa, mencionada en la fase 1 del programa, debería propiciar un ambiente de cordialidad durante el recorrido de evaluación en planta.

Tercera fase: Estudio de factibilidad

En esta fase se elaboran los análisis económicos, tecnológicos y ambientales de las oportunidades de mejora encontradas, para identificar las que sean factibles. Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Evaluación técnica, económica y ambiental: considerando como estos elementos afectan a la producción, la calidad, el ambiente, los costos de inversión y beneficios.
- Definición de recomendaciones.
- Selección de las medidas a tomar.
 - a) Evaluación técnica, económica y ambiental

Una vez realizado el recorrido por la empresa, se tendrá que organizar la información recopilada y establecer indicadores que muestren los puntos críticos del proceso, los cuales podrán transformarse en las oportunidades de mejora a recomendar.

b) Definición de recomendaciones

Al hacer una recomendación es importante definir con claridad el tipo medidas a tomar y su forma de implementación, los recursos logísticos y humanos necesarios, el costo preciso de inversión requerida, los resultados, beneficios económicos y ambientales que se obtendrán.

c) Selección de las medidas a tomar

Al momento de seleccionar las medidas a implementar, se debe analizar la relación costo/beneficio de la inversión, así como el periodo de retorno de las acciones. Teniendo en cuenta que la PmL es un proceso de mejora continua las recomendaciones no son estáticas y dependerán de las condiciones de cada empresa que decidirá cuales implementar en función de los beneficios económicos, del ahorro de recursos o de la prevención de problemas ambientales.

Cuarta fase: Implementación

Esta es la fase de ejecución en la que se concretan las recomendaciones establecidas mediante la asignación de recursos económicos, tecnológicos y humanos. Para la implementación se requiere:

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

- Establecer la fuente y el monto de los fondos destinados al proyecto
 - Ejecutar las medidas recomendadas: asignación de recursos y determinación de los responsables de llevar a cabo estas medidas.
 - Monitorear y evaluar las medidas implementadas, mediante el uso de indicadores que permitan medir el desempeño, de auditorías internas y de reportes de seguimiento.
- a) Establecer la fuente y cantidad de fondos destinados al proyecto

Se debe asegurar que las acciones relacionadas con la implementación de PmL estén dentro del presupuesto financiero disponible. Una vez analizados los costos y beneficios de la intervención es necesario gestionar los fondos necesarios, para lo cual se recomienda establecer reuniones con la administración, gerencia y directiva.

b) Ejecución de las medidas recomendadas

Una vez asegurados los fondos para la implementación de las medidas, estos deben asignarse a las dependencias involucradas en su ejecución y reafirmar su responsabilidad.

c) Monitoreo y evaluación de las medidas implementadas

La implementación de acciones, debe ser precedida del diseño de un plan de control y seguimiento, en el que se definan participativamente indicadores de desempeño, puntos y tiempos de control, formatos de registro, informes y otras acciones que se consideren pertinentes para realizar un seguimiento adecuado. Para ilustrar este punto se presenta, en el recuadro de la página anterior, el plan que utilizó una empresa para implementar un programa de PmL. Se debe aclarar que los tiempos asignados para cada actividad dependerán del tamaño de la organización, del número de trabajadores, de los productos/ servicios y de los procesos involucrados.

Conclusiones parciales:

- Como resultado del diagnóstico ambiental se caracterizaron las aguas residuales generadas por la industria en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” con elevados contenidos de materia orgánica y no recomendables para el riego, con bajos niveles de pH y elevada DBO₅ y DQO.
- La metodología para la Evaluación de Producción más Limpia propuesta por el PNUMA es adecuada para aplicar a la investigación, ya que la misma es detallada, didáctica, sistematizada y se adapta a las condiciones de la empresa objeto de estudio.

Capítulo 3.



Capítulo III: Resultados

En el capítulo se realiza la evaluación económica de opción de inversión propuesta, analizando los costos y beneficios de las mismas (Evaluación ex post y Evaluación ex ante). Para dicha evaluación se determinaron los indicadores económicos de Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRD).

El costo de inversión se determinó a partir del presupuesto requerido, y los ingresos del proyecto están basados en los que se obtienen a partir de la implementación de la inversión y que incluyen la venta de biol y energía eléctrica.

Para el cálculo de los costos de operación, se incluyeron 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.

Este capítulo tiene como objetivo valorar desde los diferentes componentes económicos y tecnológicos la pertinencia de asumir un cambio en el sistema de tratamiento de residuales de la UEB estudiada. Su organización se muestra en la Figura 14.

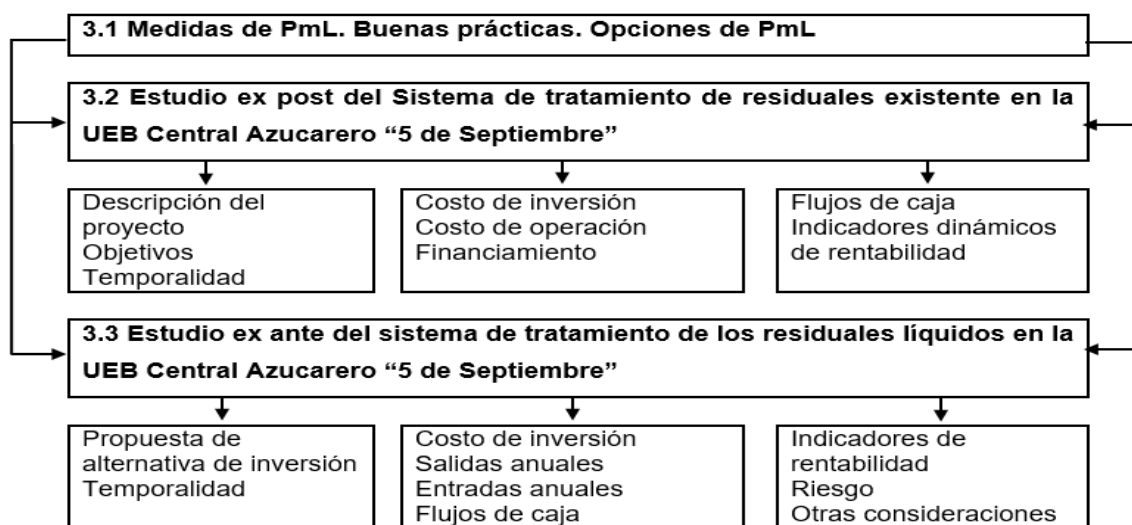


Figura 14. Estructura capitular. Fuente: Elaborado a partir de Mata (2016)

En el segundo capítulo de la presente investigación se realizó el diagnóstico que sirve de base para los análisis que son realizados a continuación que corresponden a una propuesta de buenas prácticas y a la evaluación económica.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1 Medidas de Producción más Limpia. Buenas prácticas. Opciones de Producción más Limpia

Como resultado del análisis de la información suministrada se detectan falencias en la evaluación de la planta, dígase, (1) Ausencia de la válvula de cuatro pulgadas del tanque de dosificación que impide que las aguas residuales procedentes de la limpieza de los evaporadores que presentan contenidos de ácido clorhídrico y sosa caustica lleguen a las lagunas con una menor concentración de estos ácidos; (2) El sistema de lagunas es ineficiente en el tratamiento de los residuales líquidos de la UEB, con parámetros fuera de norma en los diferentes muestreos realizados.

Las medidas, buenas prácticas y opciones de Producción más Limpia que se recomiendan a la UEB son:

1. La compra de una válvula de cuatro pulgadas para el tanque de dosificación de residuales de ácido, con un costo de 200 CUC.
2. La opción de inversión de un reactor UASB para el tratamiento de las aguas residuales.

3.2 Estudio ex post del sistema tratamiento de residuales existente en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

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 una rehabilitación constructiva a las mismas, además de incluir en la inversión la construcción de una conductora que trasladase los residuales de la industria hasta las lagunas. El proyecto tenía como objetivos:

- Dar solución definitiva a la conducción de aguas residuales procedente de la industria hasta las lagunas de oxidación.
- Resolver los problemas de funcionamiento y eficiencia existentes en el sistema de tratamiento de residuales.
- Cumplir con las exigencias medioambientales vigentes para este sector, evitando la contaminación ambiental, razón imprescindible para mantener la producción en la Empresa Azucarera “5 de Septiembre”.
- Con la sustitución de las tuberías de conducción de las aguas residuales de la industria, disminuir los actuales niveles de emisión.

CAPITULO III: RESULTADOS

- Ofrecer una alternativa para el saneamiento ambiental y elevación de la calidad de vida de las comunidades aledañas y del pueblo en general.
- Elevar la eficiencia del sistema de tratamiento, de forma tal que permita la disposición final de las aguas residuales para el fertirriego.
- Garantizar una adecuada Gestión Ambiental.

García (2009) realizó en su investigación un diagnóstico ambiental, donde identificaba los principales problemas ambientales de los residuales líquidos de la UEB, señalando cinco categorías de impacto ambiental: eco-toxicidad, eutrofización, calentamiento global, efecto invernadero y toxicidad humana. A consecuencia de esto se determinó la necesidad de cambiar el flujo final de los residuales líquidos y de mantener un tratamiento adecuado con estos, es decir utilizarlos en el fertirriego de las plantaciones cañeras aledañas a la industria, reduciendo así el problema de la eutrofización y la eco toxicidad al ser devueltos al suelo en lugar de a cuerpos receptores acuáticos, garantizando la protección del río Damují, a la vez que reportaría beneficios para los cultivos. (Figura 15)

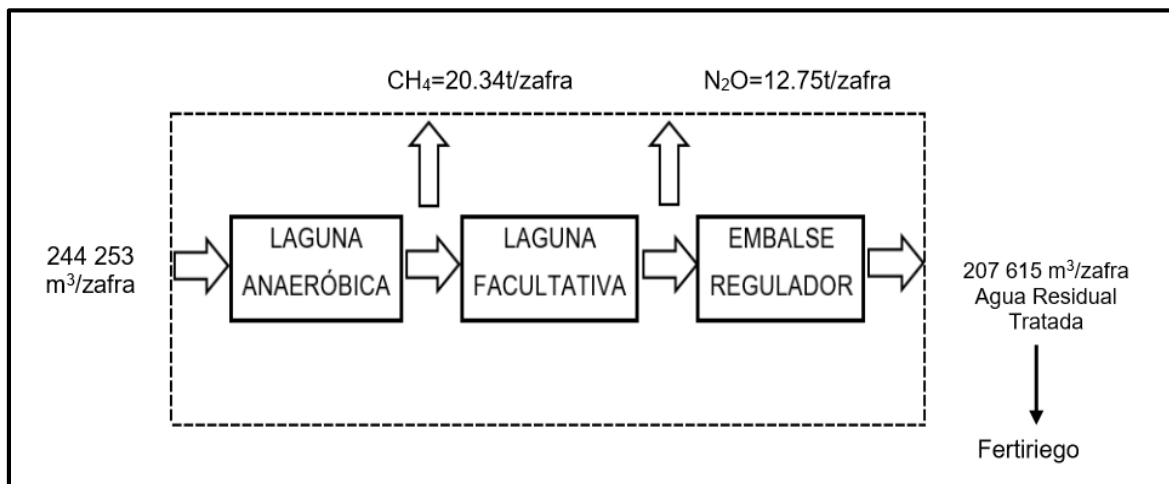


Figura 15. Diagrama de flujo para el uso de los residuales. Fuente: Tomado de García (2009)

De forma real el proyecto inició sus operaciones en el mes de octubre del año 2010. Las partidas principales que integraron la planificación por componentes en el costo de la inversión fueron: la rehabilitación de las tres lagunas de oxidación, la construcción y montaje de las tuberías de conducción de los residuales y la construcción de una trampa de sólidos a la salida de la fábrica. Para tales efectos, la UEB contrata a la Empresa de Construcción y Montaje Agroindustrial de Cienfuegos (ECMAIC), así como los gastos de investigación y desarrollo que incluyen los servicios que fueron prestados por el Instituto

CAPITULO III: RESULTADOS

de Proyectos Azucareros (IPROYAZ) en la elaboración de planos y presupuestos, además de otros gastos vinculados al proyecto para un monto total de \$ 362 746,70.

De forma real y durante la evaluación ex post se mantuvieron las partidas de rehabilitación de las tres lagunas de oxidación pero con un costo mayor al planificado en un 173,46%. Existe subcosteo en varias partidas, dígame, construcción y montaje de las tuberías de conducción de residuales, gastos de investigación y desarrollo, y otros gastos; en el primer caso el valor relativo del subcosteo fue de 15,03%, el segundo fue de 85,78% y en el último de 82,41%, para un subcosteo total de \$ 37 805,77. En sentido general el proyecto tuvo una falta de 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 acometidos realmente (Tabla 11).

Tabla 11. Resumen de las partidas componentes del costo de inversión de forma planificada y real del proyecto

Partidas	Costo Ex ante 2009	Costo Ex post 2018
Rehabilitación de las Lagunas de Oxidación	\$ 39268,16	\$ 107383,56
Construcción y montaje de Tubería Conductora de Residuales	122563,12	104138,3
Construcción de una Trampa de Sólidos	1276,54	0
Otros Gastos	45875,00	8069,23
Gastos de I+D	9000,00	1279,4
Imprevistos	36274,67	210,26
Capital de Trabajo Necesario	108489,21	0
Total	\$ 362746,70	\$ 221080,75

Fuente: Tomado de Socorro (2012)

Se consideró como inicio para la planificación el año 2008, comenzando realmente en el año 2009. En este momento se planificaron las actividades de solicitud de préstamos, contratos de los equipamientos, construcción y montaje y el resto de los trabajos requeridos para la puesta en marcha de la inversión. Al chequear la construcción y montaje de la tubería conductora, se observa que no se realizó en el tiempo previsto, ocurriendo una desviación en la unidad temporal de un 60% y de forma total en un 25%, ya que el financiamiento se obtiene en el mes de enero del propio año, pero al haber

CAPITULO III: RESULTADOS

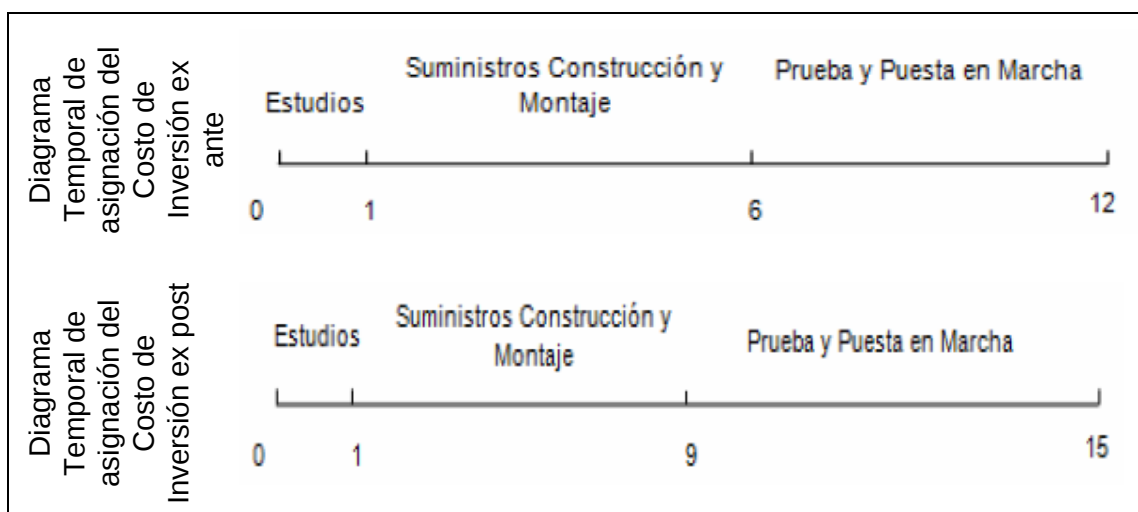
comenzado la zafra, el inicio de ejecución del proyecto se aplaza para el ultimo trimestre del año (Tabla 12).

Tabla 12. Resumen de las partidas componentes del costo de inversión según duración en la evaluación ex ante y ex post así como el indicador de cumplimiento temporal sobre ejecución del proyecto.

Partidas	Duración programada	Duración real	ICT
Rehabilitación de las Lagunas de Oxidación	5	8	0,6
Construcción y montaje de tubería conductora de residuales			
Construcción de una Trampa de Sólidos			
Otros Gastos	6	6	0
Gastos de I+D	1	1	0
Imprevistos			
Capital de Trabajo Necesario			
Total	12	15	0,25

Fuente: Tomado de Socorro (2012)

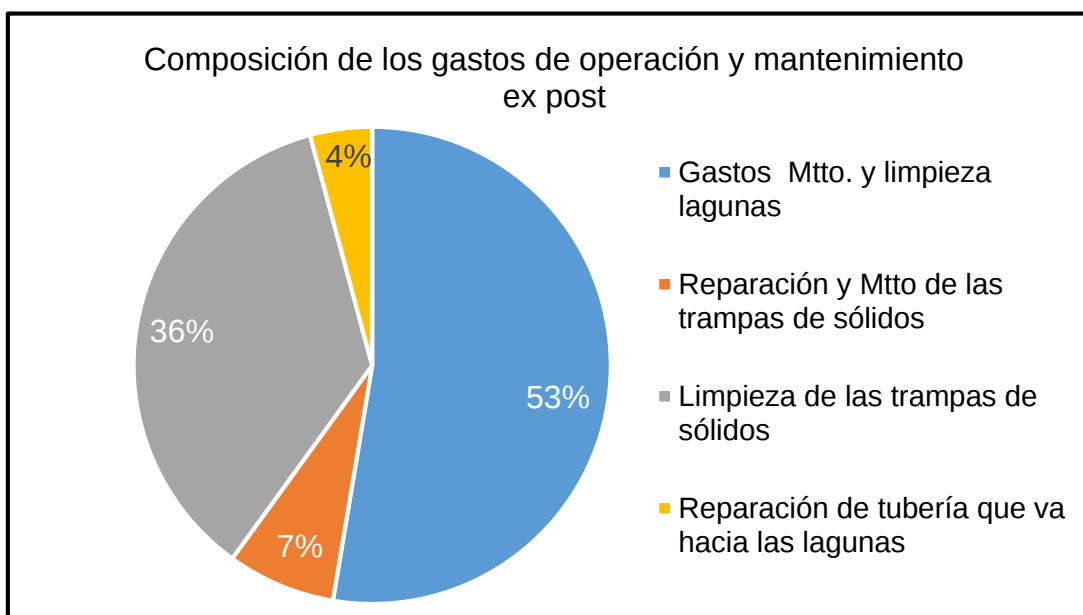
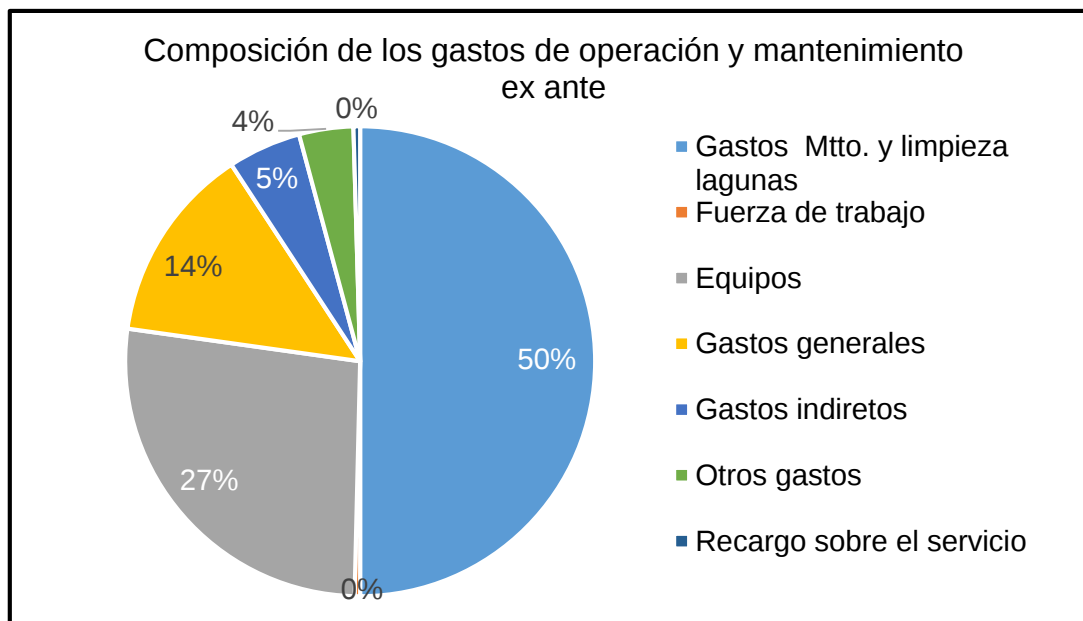
El costo de rehabilitación de las lagunas de oxidación de conjunto con la construcción y montaje de la tubería conductora de residuales y de la trampa de sólidos, fueron programadas para 5 meses, así como, los otros gastos con 6 meses de duración planificado y los gastos de investigación y desarrollo correspondientes a los estudios a realizar para el proyecto con un mes de duración (Figura 16).



CAPITULO III: RESULTADOS

Figura 16. Diagramas Temporales de asignación del Costo de Inversión ex ante y ex post. Fuente: Elaborado a partir de Socorro (2012)

El proyecto se planificó con una duración de 20 años, y actualmente lleva 8 años y dos meses de estar operando. Los gastos de operación y mantenimiento periódicos de forma ex post se ejecutaron por debajo de lo planificado para estos primeros ocho años. En la figura 17 se muestra la composición de los mismos.



CAPITULO III: RESULTADOS

Figura 17. Composición de los gastos de operación y mantenimiento ex ante y ex post del proyecto. Fuente: Elaborado a partir de información obtenida de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

El proyecto recibió financiamiento de forma real por valor de \$ 221080,75, (61% de lo planificado), por cinco años y con una tasa del 3,62%. Las entradas planificadas de forma ex ante, no se ejecutaron como estaba previsto, a causa de no aplicarse el fertirriego porque las áreas de plantaciones cañeras previstas para este fin, aledañas al central, fueron aprobadas para la siembra de cultivos varios. Por tanto no se obtuvieron ingresos por ahorro de fertilizantes y agua, ni se logró el incremento de producción previsto, como resultados de los beneficios de la utilización del fertirriego.

Los flujos de caja reales tuvieron un comportamiento muy distinto al planificado (Figura 18). Para llevar a cabo una adecuada comparación entre lo planificado y lo realmente ejecutado, fue necesario realizar una homogenización del plazo de ambas evaluaciones (ex ante y ex post), utilizando el método de Vida Común o Cadena de reemplazo. (Figura 19)

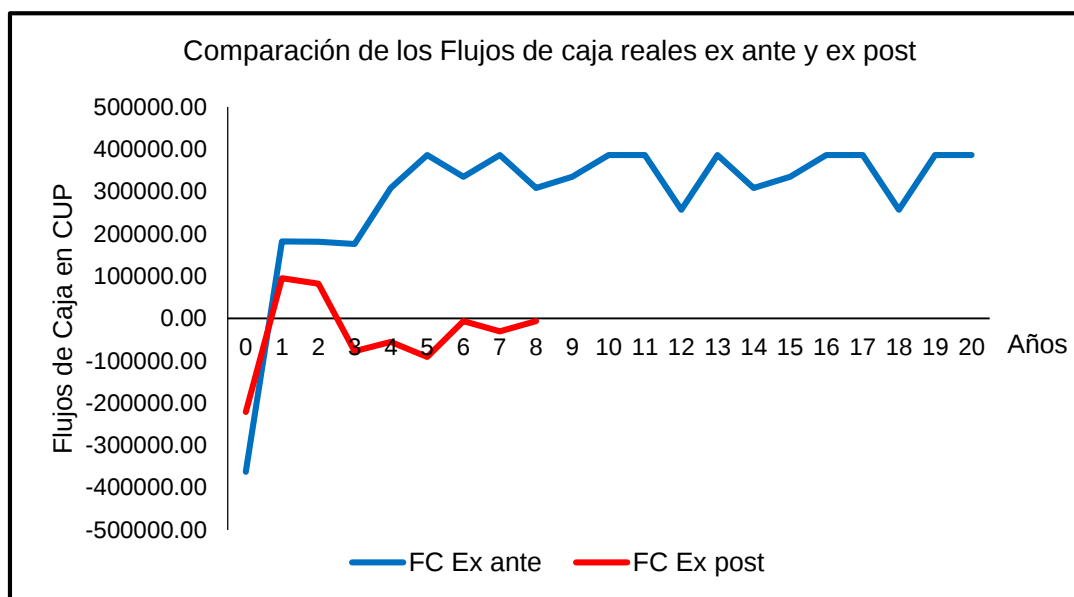


Figura 18. Flujos de caja ex ante y ex post de forma real. Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos.

Los flujos de caja tanto en la serie real como en la ajustada muestran valores negativos para la evaluación ex post, excepto en los dos primeros años de funcionamiento, esto se debe a que para estos años se obtuvieron entradas por incremento de la producción,

CAPITULO III: RESULTADOS

mientras que en el resto de tiempo no se tuvieron entradas en ningunos de los conceptos planificados.

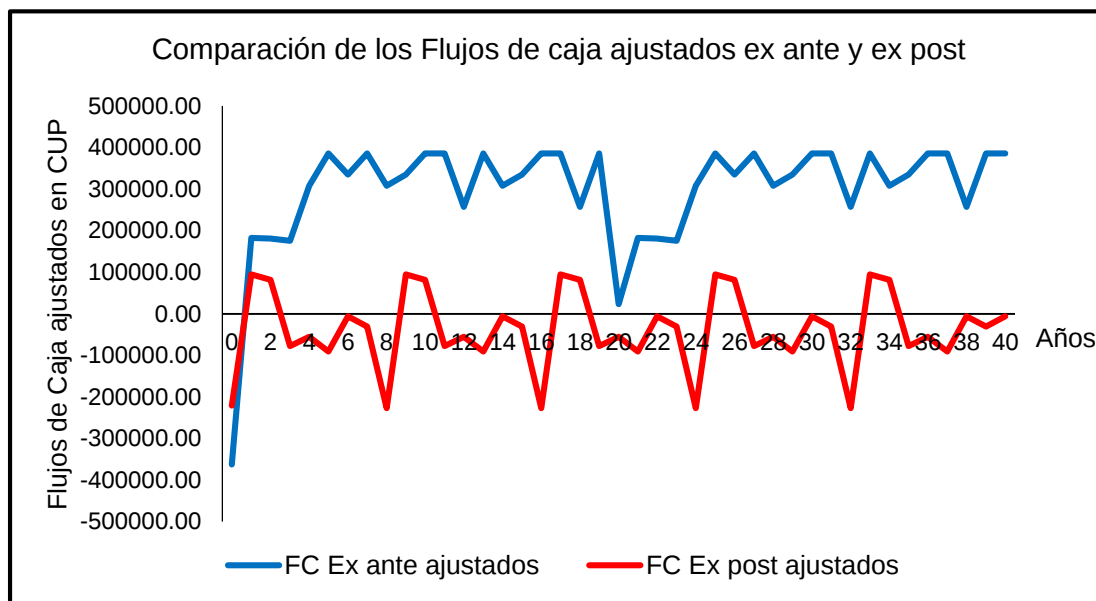


Figura 19. Flujos de caja ex ante y ex post ajustados por el método de Vida Común.
Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos con el cálculo de las técnicas dinámicas (VAN, TIR, IR y PRD) muestran valores negativos para todas y cada uno de los indicadores de rentabilidad durante la evaluación ex post realizada, mostrando la irrentabilidad del proyecto de forma real, es decir los flujos de caja del proyecto no fueron capaces de compensar la inversión inicial del mismo. (Figuras 20 y 21).

CAPITULO III: RESULTADOS

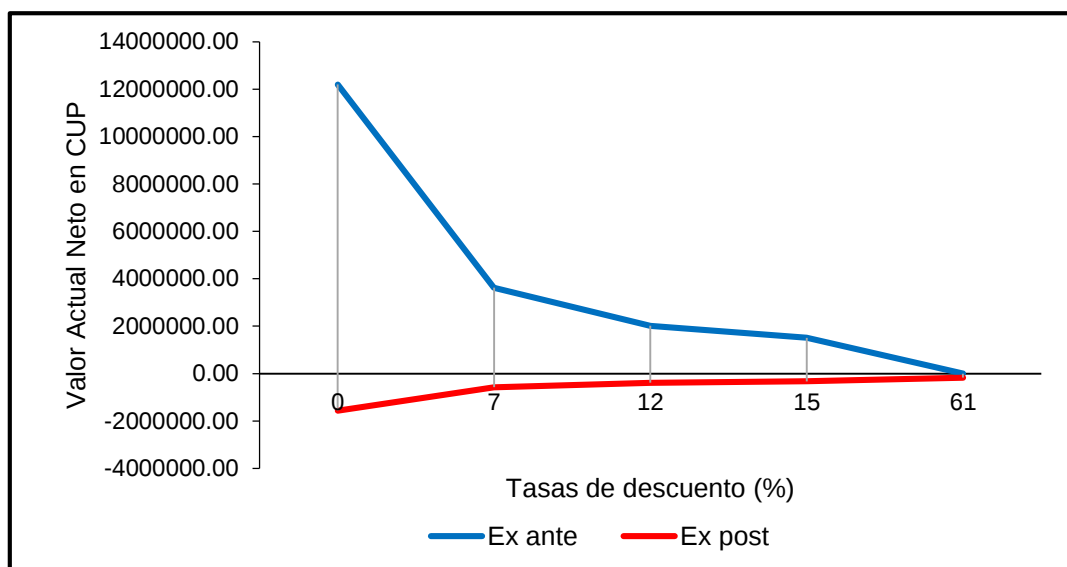


Figura 20. Comparación del Valor Actual Neto (VAN) entre la evaluación ex ante y ex post. Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos.

Para la evaluación ex ante la TIR fue de un 61%, teniendo el proyecto de forma planificada un margen de rentabilidad mínimo de 46% [61% - 15%]. En la evaluación ex post se presenta el segundo defecto de la TIR, debido a la presencia de signos positivos y negativos en los flujos de caja, este defecto consiste en que el proyecto tiene más de una TIR, ya que el VAN se hace cero más de una vez debido a los cambios de signo en los flujos de caja. El período de recuperación de la inversión se proyectó para tres años y cuatro meses, pero en la realidad hasta el momento de la evaluación no se había amortizado el desembolso inicial.

CAPITULO III: RESULTADOS

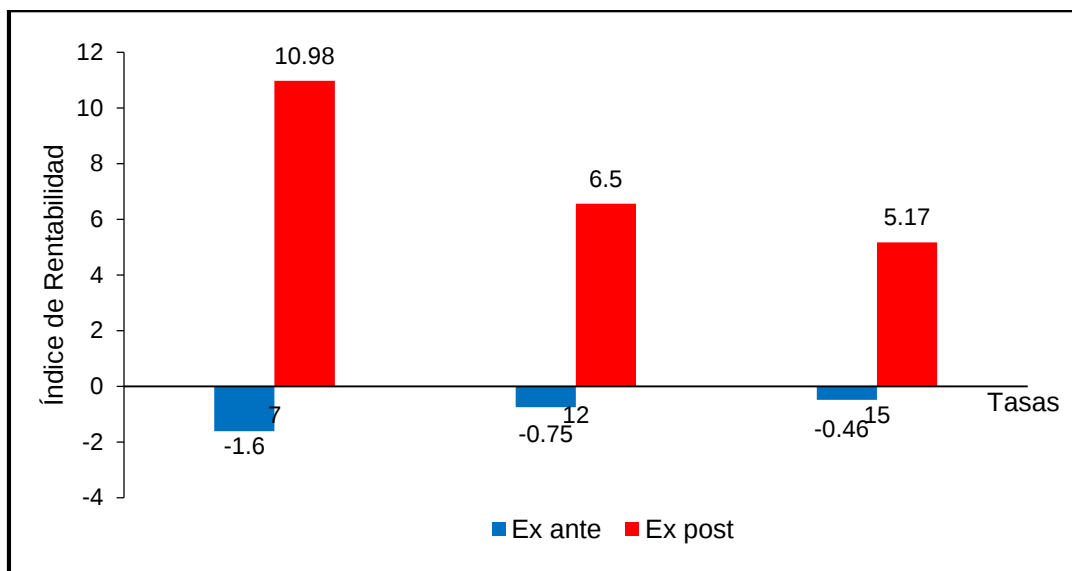


Figura 21. Comparación del Índice de Rentabilidad (IR) entre la evaluación ex ante y ex post. Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos.

3.3 Estudio ex ante del tratamiento de los residuales líquidos de la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” en 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 permitirá 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 de evaluación ex ante 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 utilización del biogás resultante en la generación de electricidad, la segunda alternativa no incluye la generación de energía eléctrica a partir del biogás.

Para la evaluación de la propuesta se tuvo como antecedente los resultados obtenidos por Hampannavar y Shivayogimath (2010) en la India, donde fueron tratadas las aguas residuales de la industria azucarera en un reactor UASB a escala de laboratorio; los resultados logrados 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, coincidiendo con el tiempo que especifica la literatura para este tipo de reactores. Para las estimaciones del volumen de

CAPITULO III: RESULTADOS

agua residual a tratar, se trabajó con la capacidad de molida industrial (norma potencial) del central, de 4600 toneladas de caña por día, con una aumento en la misma, según especifica la Empresa Azucarera Cienfuegos en su Estrategia para la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”, durante el período comprendido entre los años 2016 al 2024 (Tabla 13).

Tabla 13. Proyecciones para la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre”

Año	Caña a moler (t)	Azúcar B-96 (t)	Capacidad de molida industrial (Norma Potencial) (t/d)
2016	360584	37248	4600
2017	394396	41214	4600
2018	491135	54270	4600
2019	555205	61628	4600
2020	589684	65455	6000
2021	654378	72636	6000
2022	710406	78855	6000
2023	774995	86024	7000
2024	829896	92118	8000

Fuente: Tomado de Estrategia de la Empresa Azucarera Cienfuegos 2016-2024, Dirección de inversión y desarrollo

Los objetivos a que dará cumplimiento este proyecto de inversión, son:

- Cumplir con las exigencias medioambientales para este sector, evitando la contaminación ambiental, razón imprescindible para mantener la producción en la Empresa Azucarera 5 de Septiembre.
- Ofrecer una alternativa para el saneamiento ambiental y elevación de la calidad de vida de las comunidades aledañas y del pueblo en general.
- Elevar la eficiencia del sistema de tratamiento, de forma tal que permita la obtención de bio⁶, producto que puede ser comercializado como fertilizante.
- Aportar energía eléctrica a partir de la utilización del biogás producido en el reactor, y contribuir así a la disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera.

⁶ Nombre dado al efluente líquido resultante del tratamiento anaerobio de las aguas residuales que puede ser utilizado como fertilizante.

CAPITULO III: RESULTADOS

Se tomó como año cero de la inversión el 2019, y su vida útil fue planificada desde el 2020 hasta el 2039; a partir del 2025 se utilizó como norma potencial la de 8000 t/d, correspondiente al año 2024. En la figura 22 se muestran para cada año de vida útil del proyecto, el volumen diario de agua residual a tratar y el biogás producido por día. La estimación del agua residual se fundamenta en relación a las toneladas de caña molida ($0,517 \text{ m}^3/\text{t}$) y utilizando la norma potencial establecida en cada año. Para el cálculo del volumen de biogás se tomó el valor medio, tres litros de biogás por cada litro de agua residual por día (3 L/L.d).

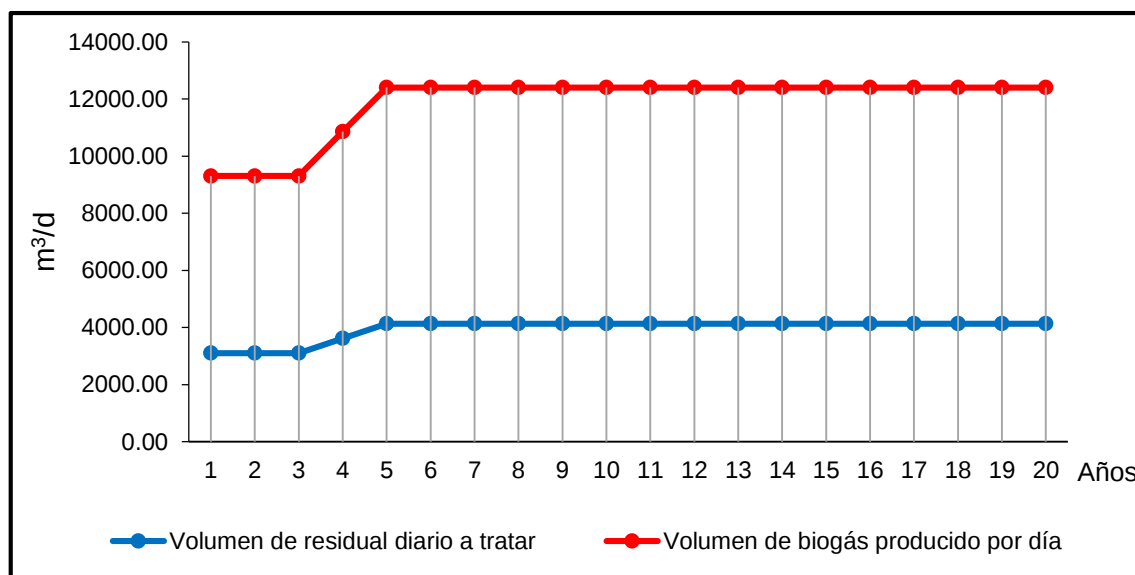


Figura 22. Volumen de agua residual a tratar y volumen de biogás producido por día.
Fuente: Elaborado a partir de los resultados obtenidos..

La evaluación de factibilidad económica se trabajó con dos alternativas de inversión, la primera, genera entradas tanto por la venta del efluente líquido resultante (biol), como por la energía eléctrica producida a partir del biogás; sin embargo en la segunda sólo se incluyó en las entradas la venta del efluente líquido. Así mismo, en la primera alternativa de inversión valorada, el costo de inversión aumenta al incluir la tecnología para la conversión del biogás en energía eléctrica. En el análisis se tuvieron en cuenta tres de los diseños más utilizados en el mundo: motores de combustión interna (motogeneradores), turbinas de gas y microturbinas. Después del estudio comparativo, la primera resultó ser la más adecuada entre todas, condicionado entre otros factores, por su capacidad de producción de biogás superior a $8 \text{ m}^3/\text{min}$ y capacidad energética entre 800 kW y 3MW (Anexo 10).

CAPITULO III: RESULTADOS

Costo de la Inversión

Las partidas que conforman el costo de la inversión son: construcción del reactor, capacitación del personal, diseño (gastos de I+D), capital de trabajo necesario, imprevistos y motogenerador (presente solamente en la primera alternativa). En la tabla 14 se muestran las partidas valoradas al costo de conjunto con el cargo anual de depreciación trabajado por el método de línea recta.

Tabla 14. Composición por partidas del costo de la inversión y depreciación para cada alternativa

Partidas	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Costo	Depreciación	Costo	Depreciación
Construcción del reactor	957400	47870	957400	47870
Capacitación del personal	13800		13800	
Diseño (Gastos de I+D)	69000		69000	
Capital de trabajo necesario	2677605,57		2634442,55	
Imprevistos	534926,93		408293,62	
Costo del motogenerador	1096536,80	54826,84	0	
Costo Total	5349269,29	102696,84	4082936,17	47870

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de la rentabilidad económica de las alternativas de inversión se presentan en moneda total (MT), a pesar de ser el USD la moneda predominante dentro de los costos y el CUP en las entradas. El costo del reactor se asumió con base al caudal de entrada, estimado de 4136 m³/d, equivalente a 47,87 L/s, y por tanto el costo de construcción se valoró en 957400,00 USD⁷, de igual manera, y según criterios de los autores Fernández y Seghezze (2015) los costos de capacitación del personal y gastos de investigación y desarrollo, se estiman anualmente en los valores que se muestran en la tabla 14. El capital de trabajo se calculó por el método de rubro a rubro y los imprevistos representan el 10% del costo de la inversión.

El costo del motogenerador 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 et al. (2017):

⁷ Según Fernández-Polanco y Seghezze (2015), se estima que un caudal de 55,2 L/s tenga un costo de 1104000 USD

CAPITULO III: RESULTADOS

- El costo del equipo se valoró en 700 USD por kW,
- El motogenerador recibe un tratamiento diferenciado a saber: se recomienda la compra de un motogenerador 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 (Figura 23).
- La mano de obra se estimó en 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.

De forma general la primera alternativa tiene un costo de inversión superior a la segunda, debido principalmente a la inclusión de los gastos asociados al motogenerador, representando estos de forma relativa el 20,5% del costo total.

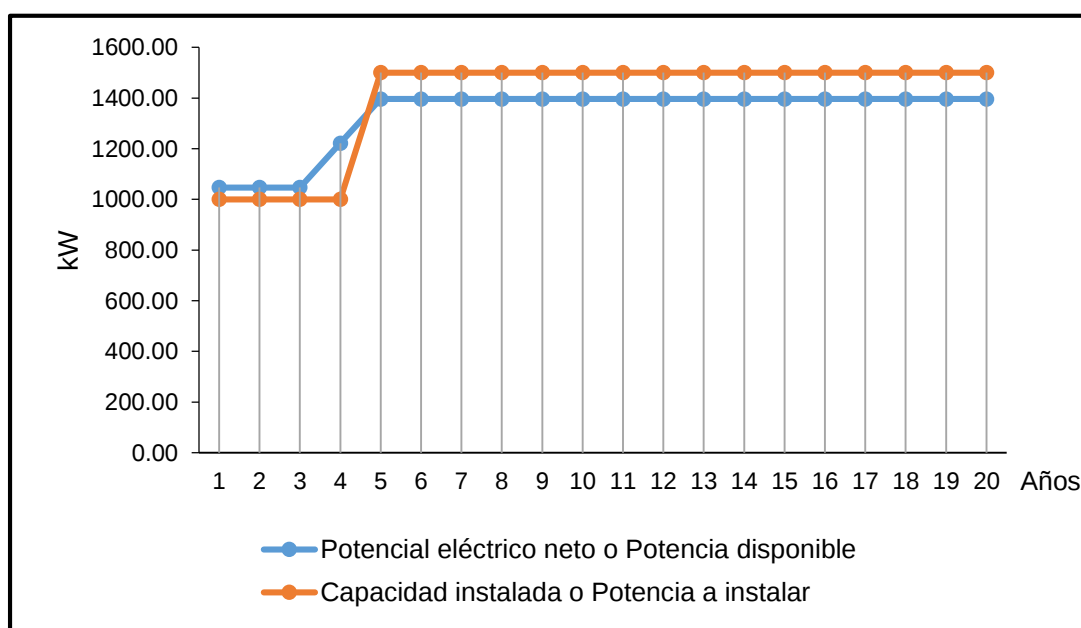


Figura 23. Potencia disponible y potencia a instalar para la generación de energía eléctrica a partir del biogás generado en el reactor UASB. Fuente: Elaboración propia.

Salidas anuales del proyecto

Las salidas por alternativas están integradas por: salario del operario (reactor y el motogenerador), variación del capital de trabajo, segundo motogenerador (solo en la

CAPITULO III: RESULTADOS

primera alternativa), depreciación, y costos de operación y mantenimiento. En las figuras 24 y 25 se muestra la estructura de los costos de operación por alternativa de inversión. Así mismo, el salario del operario se estimó en 700 CUP mensuales⁸, de igual manera los costos de operación y mantenimiento asociados al reactor son de 28722 USD al año, para llegar a este valor se siguen los criterios de Fernández y Seghezze (2015), que plantean que el caudal de 1 L/s corresponde a una población de 600 habitantes y los costos anuales se establecen en 1 USD por habitante por año, en el caso de estudio, el caudal (4136 m³/d, equivalente a 47,87 L/s) es equivalente a la carga de una población de 28722 habitante y la base de cálculo fue la misma que en la anterior.

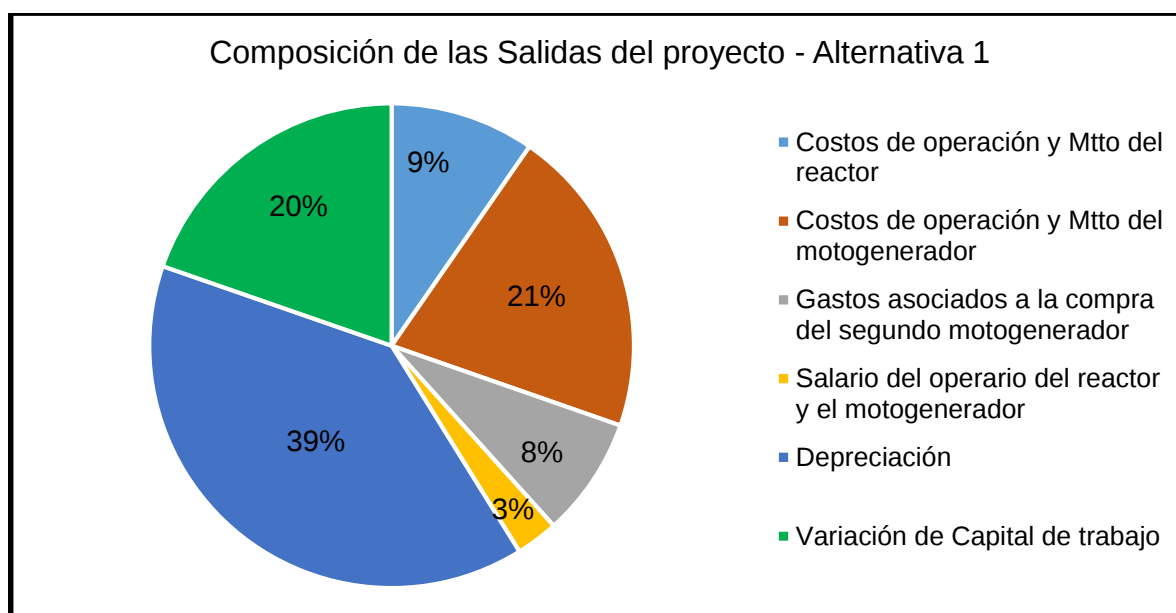


Figura 24. Partidas que componen las salidas anuales del proyecto para alternativa 1.
Fuente: Elaboración propia.

⁸ Salario que reciben los técnicos en la UEB Central Azucarero "5 de Septiembre"

CAPITULO III: RESULTADOS

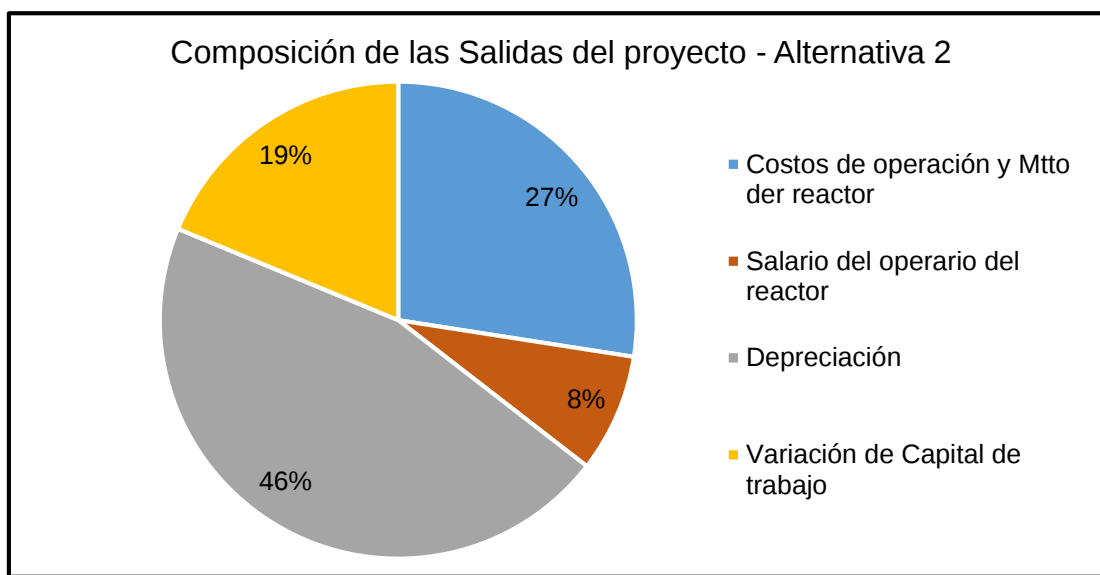


Figura 25. Partidas que componen las salidas anuales del proyecto para alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia.

Los costos de mantenimiento y operación del motogenerador 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 (1000 kW para los primeros cuatro años de vida del proyecto y 1500 kW para el resto). Los autores Blanco et al. (2017), estiman los costos de instalación en 3350 USD al año, y en el segundo caso en 12500 USD por año por cada 300 kW instalado. Para la primera alternativa, los costos de operación y mantenimiento del reactor y el motogenerador representan el 9 y 21% respectivamente, mientras que para la segunda alternativa los primeros representan el 27% (Figura 24 y 25).

Los gastos de compra del segundo motogenerador 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. El Anexo 11 muestra los valores para cada año de vida útil del proyecto en su primera alternativa. Es importante resaltar que la depreciación anual sufre un incremento a partir del quinto año, en la evaluación de la alternativa 1, debido precisamente a la incorporación del segundo motogenerador a la producción de energía eléctrica.

Entradas anuales del proyecto

CAPITULO III: RESULTADOS

Las entradas se planificaron por la venta de biol y energía eléctrica solo para la primera alternativa. Las estimaciones diarias de biol se basaron en las consideraciones hechas por Guzmán (2014), que señala que toda el agua residual que entra al reactor, sale el 100%. En la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” y según criterio de García (2009), del total de aguas residuales que sale de la industria y entran al sistema de lagunaje, sólo el 85% sale para ser vertida al medio. El precio estimado utilizado para el metro cubico de efluente líquido fue 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 determinar el potencial eléctrico neto, mediante la siguiente 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 (%)

Se convirtió el volumen de biogás en energía eléctrica, tomando en cuenta los criterios de Hampannavar y Shivayogimath (2010), estos autores plantean que un metro cúbico de biogás contiene aproximadamente 75% de metano; y si el valor calorífico del mismo es de $10 kWh/m^3$ se obtiene que el potencial energético de $1 m^3$ de biogás será igual a:

$$75 \% \cdot \frac{10 kWh}{m^3} = 7,5 kWh/m^3$$

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 CUP/kWh.

En las figuras 26 y 27 se puede observar el comportamiento previsto para el total de entradas y salidas del proyecto por alternativas en MT, donde para ambas alternativas, las entradas superan por mucho a las salidas de efectivo durante los 20 años de vida útil del proyecto. En las dos alternativas de inversión, no existe mucha diferencia en cuanto al nivel total de entradas proyectadas, esto se debe a que el peso principal lo tienen los ingresos por la venta de fertilizante (biol), constituyendo este concepto el 98% del total de entradas en la primera alternativa y el 100% en la segunda.

CAPITULO III: RESULTADOS

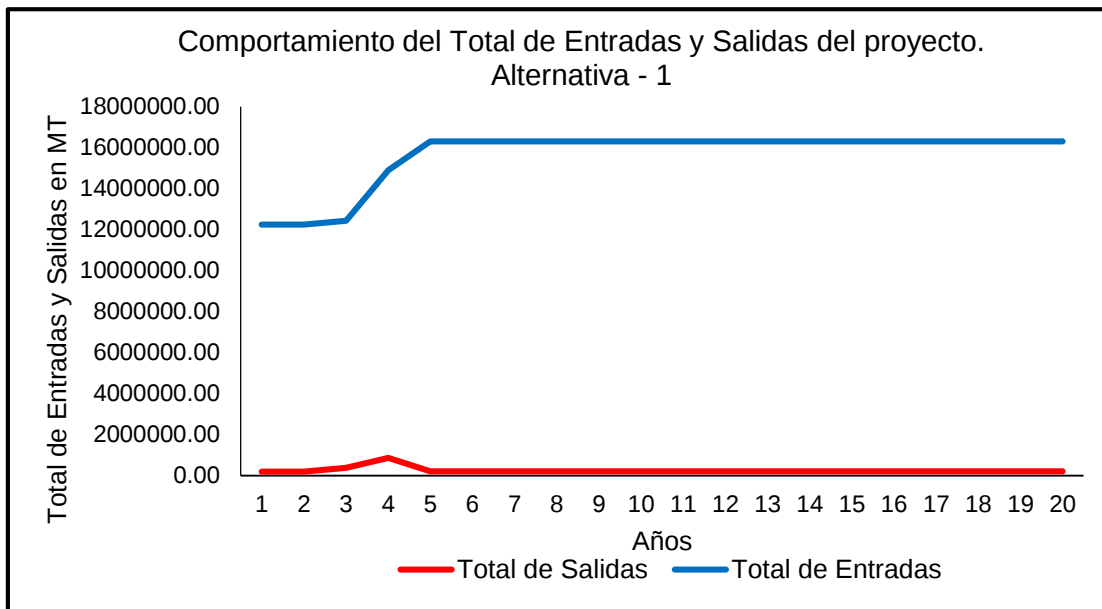


Figura 26. Comportamiento del total de entradas y salidas del proyecto en MT en la Alternativa – 1. Fuente: Elaboración propia

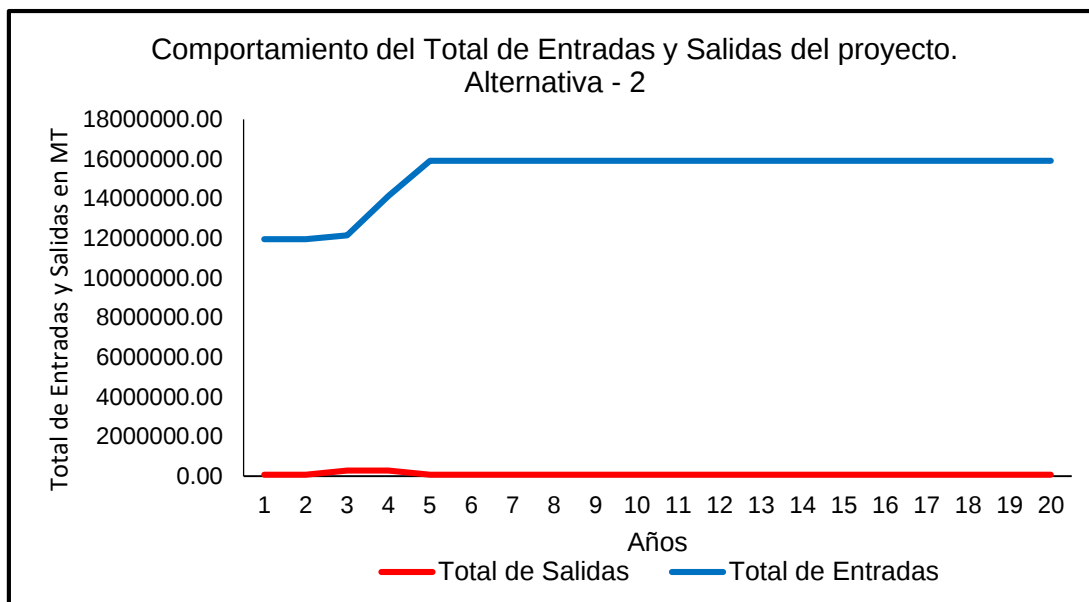


Figura 27. Comportamiento del total de entradas y salidas del proyecto en MT en la Alternativa – 2. Fuente: Elaboración propia

Los flujos de caja para ambas alternativas son positivos, con valores inferiores para la segunda de ellas, mientras que la inversión neta de la alternativa 1 supera en un 23,67% a la segunda como se muestra en la figura 28.

CAPITULO III: RESULTADOS

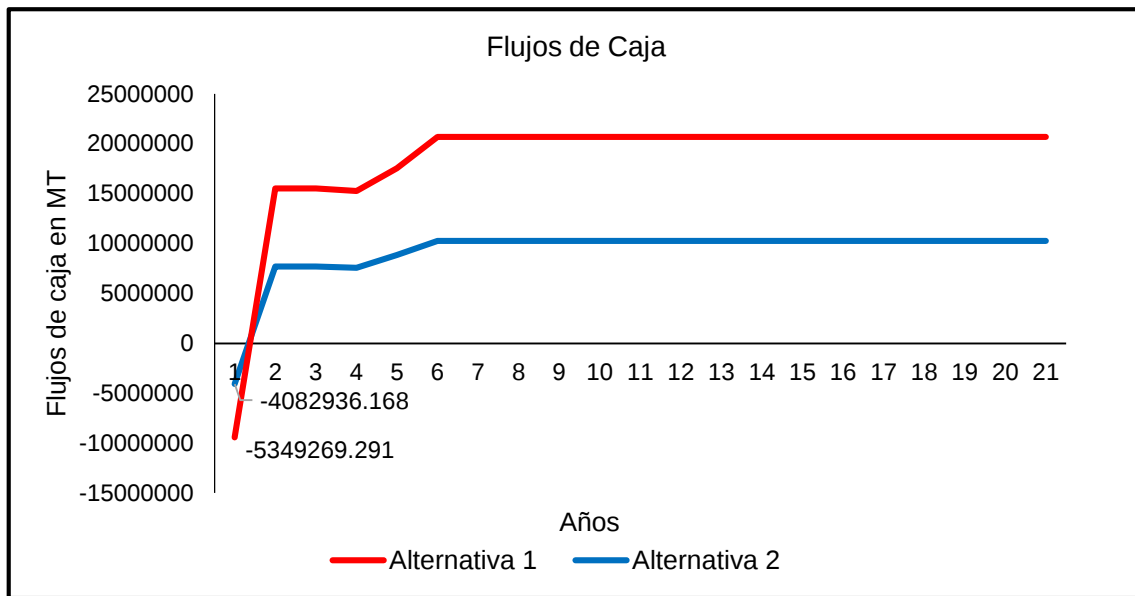
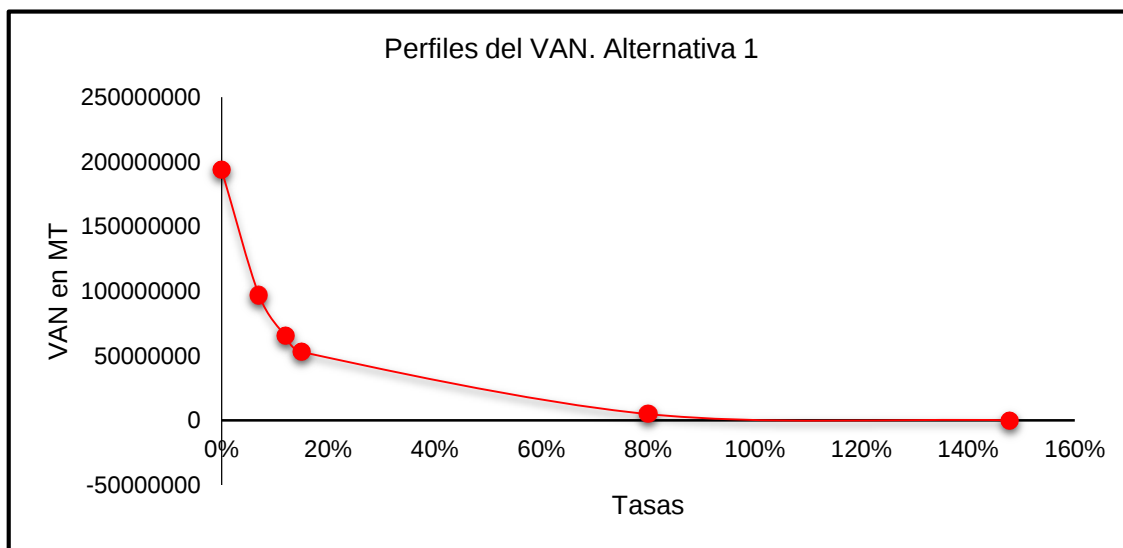


Figura 28. Comportamiento de los flujos de caja para ambas alternativas en MT.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos por alternativa muestran un proyecto rentable con una TIR de 148% en el primer caso y de 190% para el segundo, ambas muy por encima de la tasa de descuento máxima utilizada (15%), dando así un alto margen de rentabilidad (figuras 29 y 30). El Índice de rentabilidad (IR) se mueve en el intervalo de (10,88 ; 19,10) en la primera alternativa y de (14,09 ; 24,72) para la segunda, significando ganancias (como mínimo) de 10,88 MT y de 14,09 MT por cada peso invertido en cada una de las alternativas evaluadas.



CAPITULO III: RESULTADOS

Figura 29. Perfiles del VAN con diferentes tasas de descuento para la primera alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

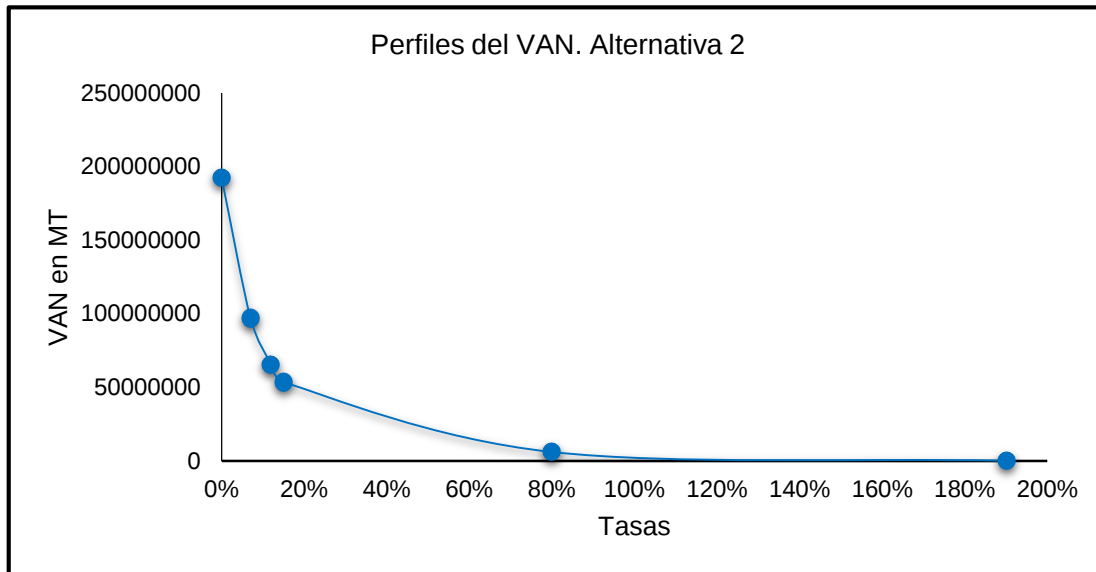


Figura 30. Perfiles del VAN con diferentes tasas de descuento para la segunda alternativa. Fuente: Elaboración propia.

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. Esto significa que el proyecto no tarda un año completo (como máximo) antes de recuperar totalmente el costo de su inversión, suceso muy favorable ya que mientras mayor es el PRIId menos rentable es el proyecto. (Figuras 31 y 32).

CAPITULO III: RESULTADOS

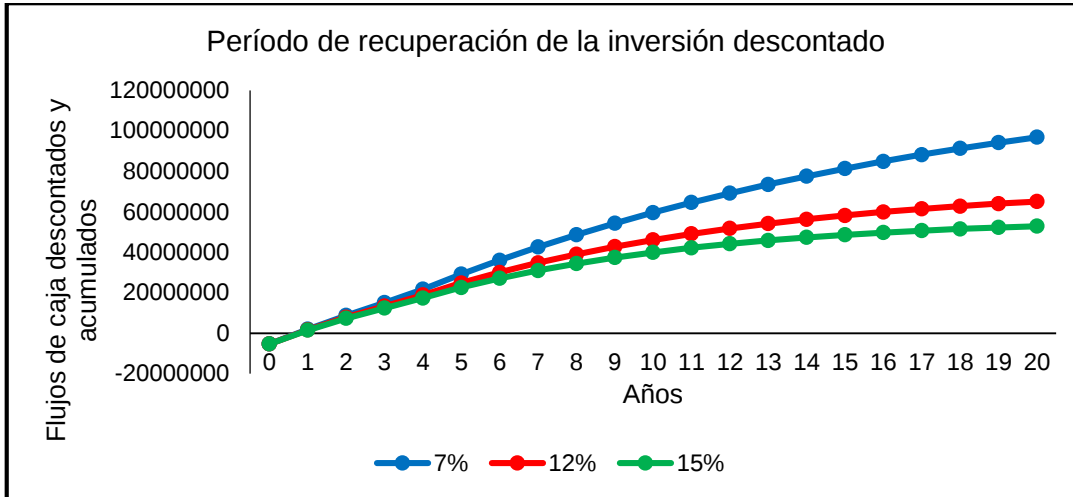


Figura 31. Período de recuperación de la inversión descontado para la alternativa 1.
Fuente: Elaboración propia.

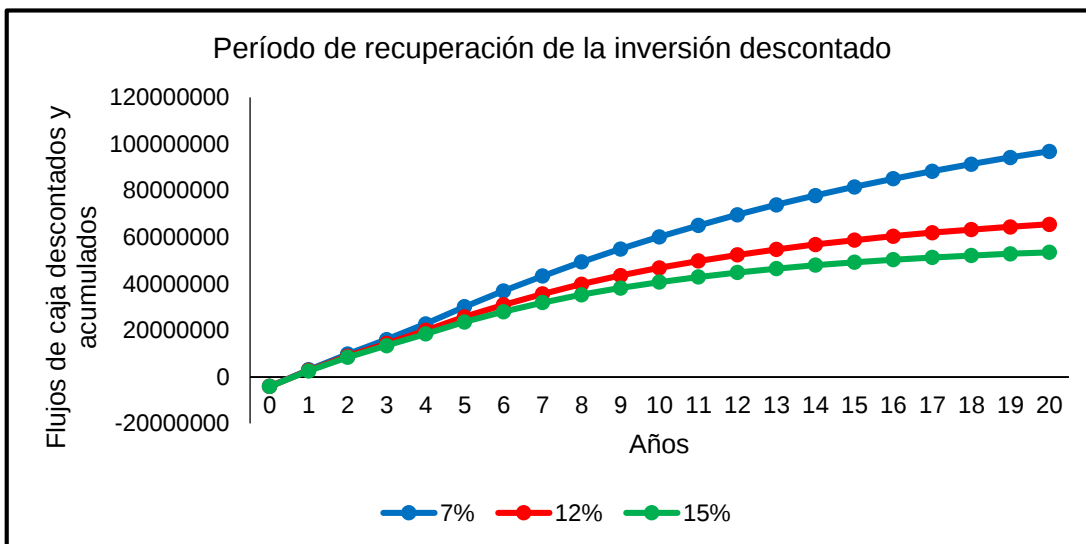


Figura 32. Período de recuperación de la inversión descontado para la alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia

Evaluación del riesgo del proyecto

Para la evaluación de los riesgos se identificaron las posibles variables que podrían causar una variación en la rentabilidad del proyecto y se conformaron tres escenarios (bajo, medio y alto) a los que se le asoció una probabilidad de ocurrencia, esto se realizó por alternativas de inversión. A continuación se relacionan dichas variables:

1. Días de zafra de la UEB Central Azucarero "5 de Septiembre"

CAPITULO III: RESULTADOS

2. Producción de biogás
3. Contenido de metano en el biogás
4. Eficiencia eléctrica del motogenerador

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 15). En el caso de la segunda alternativa la variable: Eficiencia eléctrica del motogenerador no se incluyó en el análisis de riesgo, pues no se concibe la generación de energía eléctrica.

Tabla 15. 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 16, siendo el escenario más probable el medio.

Tabla 16. 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.

Para la cuantificación del riesgo se utilizaron técnicas estadísticas como la desviación típica el valor esperado del VAN y el coeficiente de variación (CV), representando este último el grado de riesgo para cada alternativa.

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 ($CV \leq 45\%$) en todos los casos (Figura 33), los indicadores presentaron el mismo

CAPITULO III: RESULTADOS

comportamiento para la segunda alternativa (Figura 34). Estos resultados significan que aunque el proyecto presenta riesgo, este no afecta la rentabilidad del mismo, por lo que el proyecto continúa siendo atractivo.

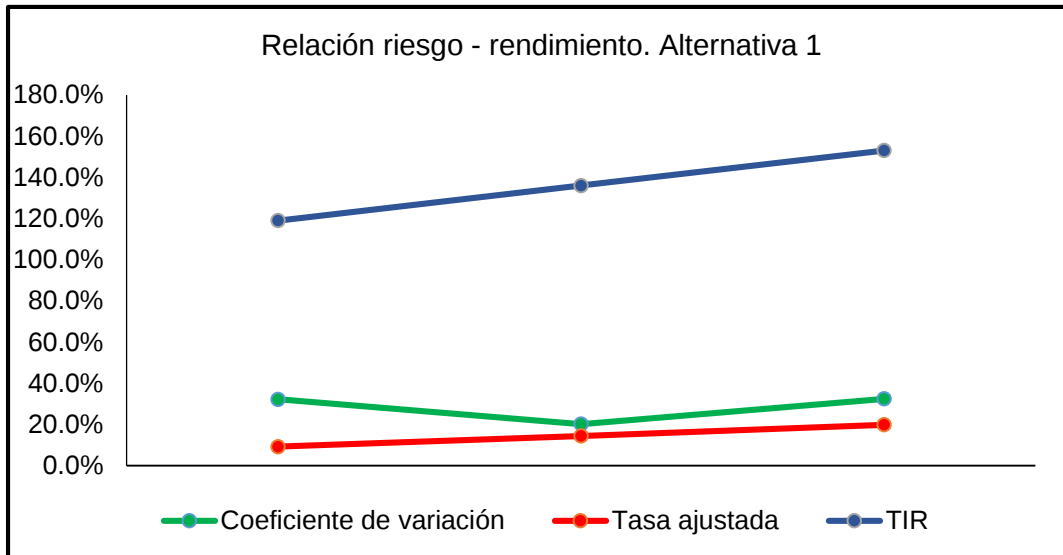


Figura 33. Comportamiento del riesgo para la primera alternativa de inversión. Fuente: Elaboración propia.

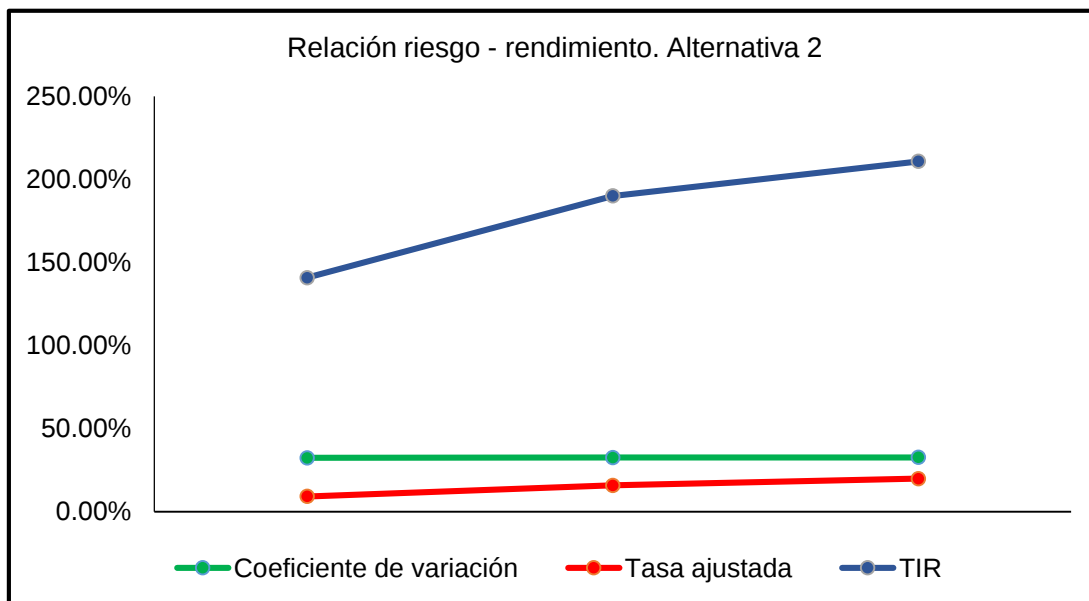


Figura 34. Comportamiento del riesgo para la segunda alternativa de inversión. Fuente: Elaboración propia.

Otras consideraciones

CAPITULO III: RESULTADOS

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.

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 fertirriego de las plantaciones cañeras del central.

Conclusiones parciales

- La evaluación ex post del sistema de lagunaje existente demostró la ineficiencia del mismo durante los ocho primeros años de funcionamiento, y a pesar de que restaban aún doce años de funcionamiento no se apreciaron perspectivas de mejora.
- La propuesta de inversión para tratar previamente las aguas residuales de la industria a través de un reactor UASB incorpora beneficios potenciales al proceso con la producción de nuevos productos que además demuestran la factibilidad económica del sistema.

Conclusiones.



CONCLUSIONES

Conclusiones

Luego del desarrollo de la investigación y como resultado de la misma se arribó a las siguientes conclusiones:

- Con el estudio realizado se comprobó la existencia de varias metodologías de PmL que tienen como objetivo promover procesos de mejora continua en las organizaciones y que coinciden en las tareas a desarrollar incluyendo la de factibilidad económica.
- Las aguas residuales generadas por la industria en la UEB Central Azucarero “5 de Septiembre” se caracterizan por presentar valores de pH bajos (5,8 como promedio) y cifras extremadamente altas de DQO y DBO₅ como promedio por zafra, dígame, 4357,67 mg/L en el primer caso y 5327 mg/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.

Recomendaciones.



RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Poner en manos de la dirección de la entidad, los resultados de la presente investigación, para que puedan valorar la pertinencia de una inversión encaminada a un mejor funcionamiento en el tratamiento de sus residuales, con los respectivos beneficios económicos y ambientales estimados.
- Difundir los resultados de la investigación, a través de publicaciones y eventos científicos, a fin de enriquecer el estado del arte en esta temática de estudio y permitir el empoderamiento de esta línea de interpretación en el tratamiento de residuales y en las metodologías de evaluación económica de sus inversiones.

Bibliografia.



Bibliografía

- Aguilar Genes, M. V., & Aguilar Genes, G. C. (2015). *Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca.
- Akbar, N., & Khwaja, M. (2006). *Study on Effluents from Selected Sugar Mills in Pakistan: Potential Environmental, Health, and Economic Consequences of an Excessive Pollution Load*.
- APHA. (2008). Historia. *Asociación de Productores de Azúcar de Honduras*. Recuperado a partir de www.azucar.hn.
- Arrazola, C. (2015). El control de los vertidos de las aguas residuales. *iAgua*. Recuperado a partir de <http://www.iagua.es/blogs/carlos-arrazola/control-vertidos-aguas-residuales>.
- Barahona defaz, F. A. (2013). *Desarrollo, construcción y pruebas de un sistema de uso de biogás como combustible en un motogenerador eléctrico rural*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Barreto, S. (2005). Importancia de la caracterización de los residuales líquidos de los centrales azucareros para el diseño y explotación de plantas para su tratamiento. *Centro Azúcar*.
- Barreto, S., García, L., & Barreto, G. (2004). Propuestas para disminuir la acidez de las aguas residuales del CAI Argentina. *Centro Azúcar*.
- Bermúdez Savón, R. C., Rodríguez Pérez, S., Martínez Abreu, M. D. L. C., & Terry Brown, A. I. .. (2003). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. *Tecnología Química, XXIII(2)*. Recuperado a partir de <https://aqualimpia.com/PDF/UASB%20Ventajas.pdf>.
- Besú Alamo, L. (2009). *Mejora de la calidad en el proceso de Purificación de la Empresa Azucarera 5 de Septiembre*. Tesis de grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".

BIBLIOGRAFÍA

- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico*. Buenos Aires, Argentina.
- Carrasco Allendes, J. L. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos*. Tesis de grado, Universidad de Chile.
- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, (115), 1-18.
- CITMA, Agencia de Ambiente, & Centro de información. (1998). Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción más limpia. Alternativas para el aprovechamiento económico de residuales.
- CNP+LH, USAID/MIRA, & DGA/SERNA. (2009). *Guía de Producción más limpia para el procesamiento de caña de azúcar* (AGA & Asociados – Consultores en comunicació.). Honduras.
- CONAM. (2003). *Guía de implementación de P+L. Contaminación de las aguas. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha*. (2008). . Tesis de maestría, Escuela Organización Industrial, Sevilla. Recuperado a partir de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48159/componente48157.pdf.
- Crespo, M., & Ferrer Márquez, A. (2006). *La generación y minimización de residuos en el ámbito de las PYME en España*. Madrid, España.
- Dante. (2001). *Guía No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos*. Quito, Ecuador.
- Depuración biológica de las aguas residuales urbanas. (s.d.). . Recuperado a partir de <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf;sequence=8>.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz Báez, M. C. (1987). Reactores de alta tasa. *Ingeniería e Investigación*, 4(2), 11-18.
- Escobedo. (2001). *Impacto ambiental, procesos de azúcar. Reporte de pre evaluación en la compañía azucarera Tres Valles, Sa de CV*. México: Centro Mexicano para la Producción más Limpia.
- Fernández-Polanco, F., & Seghezzo, L. (2015). *Diseño de Reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)* (Delegación de la Comisión Europea en Argentina e Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).).
- García Mora, 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 grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- Genes, J. L. A. (2015). *Estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas*. Tesis de grado, Universidad del Valle. Escuela de ingeniería eléctrica y electrónica, Santiago de Cali, Valle de Cauca, Colombia.
- Guzmán Marrero, E. (2014). *Evaluación Ex ante del proyecto Tratamiento de residuales con fines productivos en la Empresa Genético Porcina Cienfuegos*. Tesis de grado, Universidad de Cienfuegos. Sede Carlos Rafael Rodríguez.
- 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*, 1(4).
- Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutierrez, A., García-Lorenzo, D., Chamorro, C., et al. (2018). On the evolution of "Cleaner Production" as a concept and a practice. *Journal of Cleaner Production*, 172(3323-3333). doi: www.elsevier.com/locate/jclepro.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández, Y. (2007). *Aplicación de las prácticas de producción más limpia, para el uso del agua en la Fábrica de Azúcar de la Empresa Azucarera "Cuba Libre"*. Tesis de grado, Universidad Camilo Cienfuegos. Matanzas.
- Incauca. (2006). Proceso productivo de azúcar a partir de la caña de azúcar. *El ingenio de Colombia*. Recuperado a partir de <http://www.incauca.com/>.
- Jaramillo Echeverri, C. A. (2013). *Evaluación ambiental y económica de la implementación de estrategias de producción más limpia en la industria descafecol del municipio de manizales. (Estudio de Caso)*. Tesis de maestría, Universidad de Manizales.
- Lalvay Guamán, E. J., & Vidal Jaramillo, J. P. (2013). *Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021*. (2017). (págs. 27-42).
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XL(1), 13-21.
- Manuelita S.A. (2006). Proceso productivo. *Grupo Empresarial Manuelita, División azúcar refinada y alcohol, Cali, Colombia*. Recuperado a partir de <http://www.manuelita.com/html/sitio/index.php>.
- Márquez Vázquez, M., & Martínez González, S. A. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología*. Centro Tecnológico Aragón. Laboratorio de ingeniería Ambiental. Recuperado a partir de <http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/RAFA.pdf>.
- Mata Varela, M. D. L. C. (2016). *Administración financiera del ciclo de proyectos de inversión agropecuarios*. Tesis Doctoral, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas. Departamento de Contabilidad y Finanzas.
- Morales Trujillo, J. (2011). *Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación*. Monografía, Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

- Morrell, I., & Jacinto, L. (2004). *Tratamiento de aguas residuales industriales con el uso de soportes de fijación celular*. Universidad Veracruzana.
- Nodal Becerra, E. (2001). Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXII(4).
- Ochoa, G. (2007). *Las Producciones Más Limpias en la Gestión Empresarial*. Cienfuegos, Cuba: Editorial Félix Varela Universo Sur. Universidad de Cienfuegos.
- Oestreich, A., Marise Keller, D. S., & Rocco, V. M. (2012). Producción más limpia y competitividad. Un camino hacia la excelencia empresarial sustentable. *Revista de Antiguos Alumnos del IEEM*.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (s.d.). *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. ICS: 13.060.30*.
- ONUDI. (2014). *Introducción a la Producción más Limpia*.
- ONUDI. (1999). *Manual de Producción más Limpia*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
- Oña Alfonso, I. V. (2013). *Gestión y tratamiento de aguas en la UEB Central Azucarero "Héctor Rodríguez"*. Tesis de maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Recuperado a partir de
<http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3395/Vilma%20O%20c3%b1a%20Alfonso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Perafan, F. (2008). Descripción del proceso de azúcar. *Azúcar de caña*. Recuperado a partir de www.perafan.com/ea02azuc.html.
- Pérez Alarcón, F. E., & Camacho Alcalá, K. L. (2011). *Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas*. Tesis de maestría, Universidad Veracruzana, Zona Poza- Rica, Tuxpan.
- Pérez González, Y. (2017). *Evaluación ex post del proyecto biodigestores de geomembrana para el tratamiento de los residuales orgánicos en ecosistemas productivos de montaña*. Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos. Sede Carlos Rafael Rodríguez.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez Rodríguez del Rey, O. (2018). *Producción más limpia en la Empresa Glucosa de Cienfuegos para el tratamiento de los efectos contaminantes*. Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos. Sede Carlos Rafael Rodríguez.
- PNUMA. (2003). La empresa eficiente. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Poma García, Y. (2015). *Oportunidades de negocio a partir de residuales en la provincia de Cienfuegos*. Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- Proceso de producción de azúcar. (2010). *San Carlos*. Recuperado a partir de http://www.sancarlos.com.ec/portal/html/themes/ingenio/pdf/proceso_produccion.pdf.
- Rigola, M. (1998). *Producción+limpia* (Primera edición.). Barcelona, España: Editorial Rubes.
- Rincón Acelas, I. R. (2008). *Cinética de la degradación anaerobia termofílica de vinazas de caña*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, J. A. (2009). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Universidad el Valle. Cali, Colombia.
- Sáenz Quesada, J. (2011). Manejo y tratamiento de aguas residuales en ingenios azucareros.
- Seoánez. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos* (Ediciones (M.)Mundi-Prensa.). España.
- Serrano Méndez, J. (2006). *Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: Universidad para todos. Protección Ambiental y Producción +Limpia*. Suplemento Especial. La Habana, Cuba: Editorial Academia, parte 1.
- Siles, F. A. (2012). *Generación de energía eléctrica a partir de producción de biogás*. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Socorro López, 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 grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".

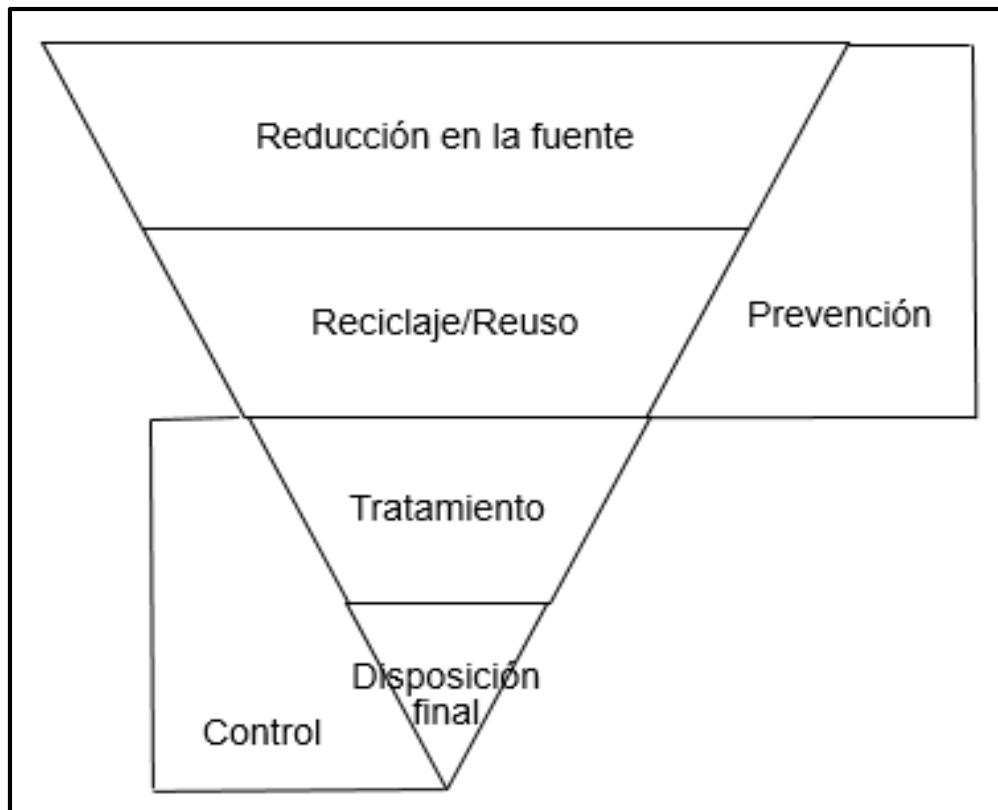
BIBLIOGRAFÍA

- Tortosa, B. I., & Terry Berro, C. (s.d.). Acciones de producción más Limpia en Cuba.
- Valera Bello, K. F. (2016). *Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras*. Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Recuperado a partir de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5748/1/IAD-2016-T042.pdf>.
- Victoria Santiesteban, I. (2014). *Sistema de tratamiento de residuales líquidos de la industria azucarera colombiana y la contaminación ambiental en la cuenca hidrográfica del río Tana*. Tesis de grado, Centro Universitario Municipal Filial MES “Cándido González Horta”. Colombia, Las Tunas, Cuba.
- Zambrano Pantoja, C. V. (2014). *Estudio técnico de un generador de energía eléctrica a partir de biomasa en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño*. Tesis de grado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

Anexos.



Anexo 1: Esquema de los niveles de reducción de contaminación



Fuente Tomado de ONUDI (1999) y USAID/MIRA y DGA/SERNA (2009)

Anexo 2: Metodologías de Evaluación de Producción más Limpia

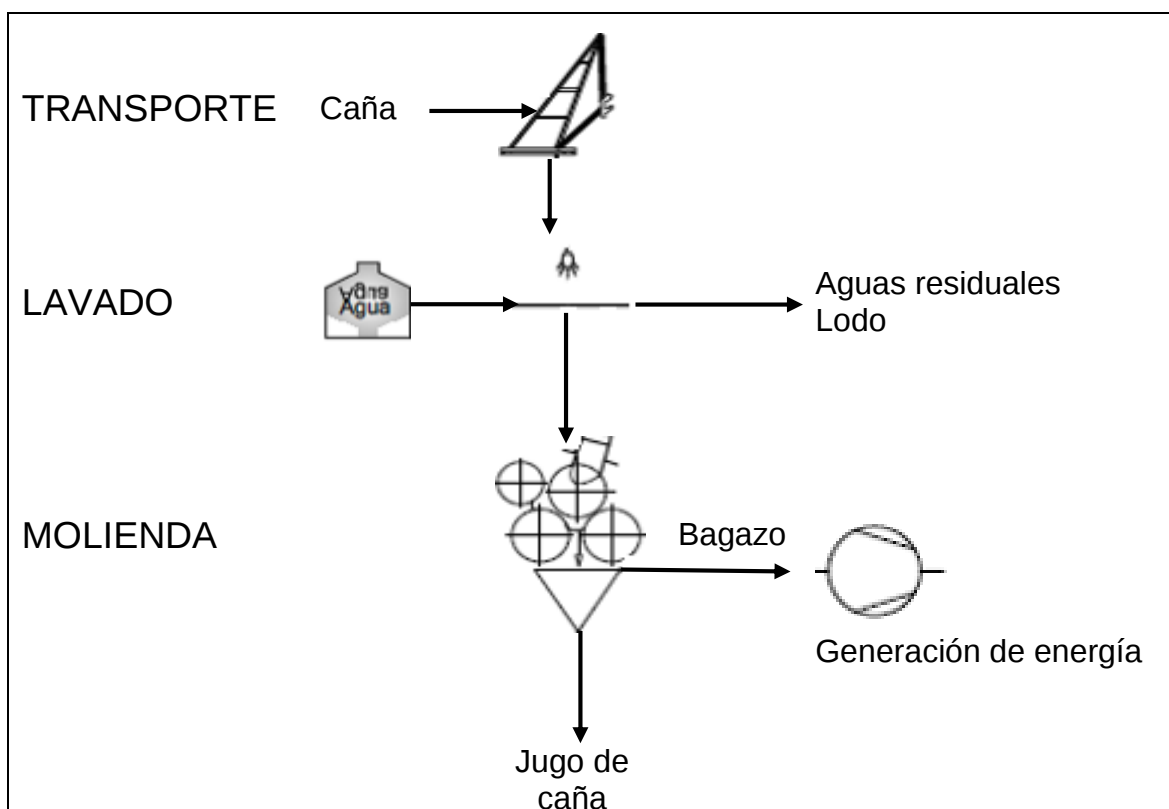
Fases	Metodología para la EPmL			
	PNUMA	Método genérico	Propuesta por Rigola.	Descrita por expertos cubanos
I.	Planeación y organización Obtener el compromiso de la gerencia y de todo el personal de la empresa. Organizar el equipo de PmL. Definir claramente las metas del Programa de PmL en la empresa. Identificar obstáculos y soluciones para el Programa de P+L. Capacitar a mandos intermedios y operarios.	Planeación y organización Obtener el compromiso de la dirección superior Involucrar a los empleados Organizar un equipo de Producciones más Limpias Identificar los impedimentos y soluciones a la EPmL como un proceso Decidir el enfoque de la EPmL.	Preparación de la evaluación Compromiso de la alta dirección y manifestación expresa de su soporte a la evaluación. Definición de los objetivos finales y parciales. Organización del equipo auditor.	Involucrar y obtener el compromiso de la alta dirección. Crear el equipo de trabajo de P+L. Recoger datos de la organización Colectar y preparar información básica del proceso Medir las entradas y salidas del proceso Elaborar balance de masa y energía.
II.	Evaluación en planta • Reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción. • Definir el diagrama de flujo del proceso: entradas y salidas. • Llevar registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía. • Organizar el equipo evaluador. • Generar opciones.	Evaluación preliminar • Colectar y preparar la información básica. • Conducir los reconocimientos de la planta • Ejecutar el balance preliminar de materiales y energía. • Preparar un Eco-mapa	Revisión de la documentación del proceso Revisión de las etapas y unidades de proceso, diagramas de proceso incluyendo los tratamientos de corrientes residuales. Identificar las entradas de materias primas, agua y energía. Identificar las salidas del proceso. Identificar los destinos finales.	Generar opciones de PmL. Seleccionar las opciones a evaluar Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de mejora. Seleccionar las opciones de PmL factibles de aplicar Preparar plan de acción de PmL. Implementar las medidas de P+L recomendadas Supervisar avance de las medidas implementadas.

			Determinar los niveles iniciales de recirculación interna, de reciclado externo y de reutilización. Identificar las corrientes con materiales peligrosos.
III.	Estudio de factibilidad Evaluación técnica, económica y ambiental. Definición de recomendaciones. Selección de las medidas a tomar.	Estudio detallado Elementos del Balance Detallado de Masa y Energía Recolección y validación de datos Balances de masa Confección de los Mapas Cuantitativos de Consumo. Diagnóstico de causas. Generación de opciones. Selección de opciones más obvias.	Verificar la información sobre el terreno Realizar una inspección visual sobre el terreno. Revisar datos y completar con datos reales.
IV.	Implementación Establecer la fuente y el monto de los fondos destinados al proyecto. Ejecutar las medidas recomendadas. Monitorear y evaluar las medidas implementadas	Análisis de factibilidad Chequeo detallado de opciones. Evaluación técnica. Evaluación medioambiental Aspectos de seguridad Evaluación económica Selección de Opciones Factibles	Análisis de balance y rendimiento del proceso Completar los balances de materia y energía. Evaluar la eficacia en el uso de materias y energía. Hacer análisis de energía y ajuste termodinámico (pinch). Investigar el potencial de segregación de las corrientes.
V.		Aplicación y Supervisión	Identificación de

VI.	Plan de aplicación de las Producciones más Limpias Sostener en el tiempo la Evaluación de las Producciones más Limpias	oportunidades y evaluación técnica. Identificar las opciones más obvias. Identificar otras corrientes con problemas. Desarrollar alternativas a largo plazo. Evaluación económica. Determinar los costes actuales y anticipar los futuros. Realizar estudios de viabilidad. Determinar prioridades de ejecución. Plan de acción. Preparar un informe con conclusiones Diseñar un plan de acción Obtener fondos Ejecutar las opciones y verificar los resultados.

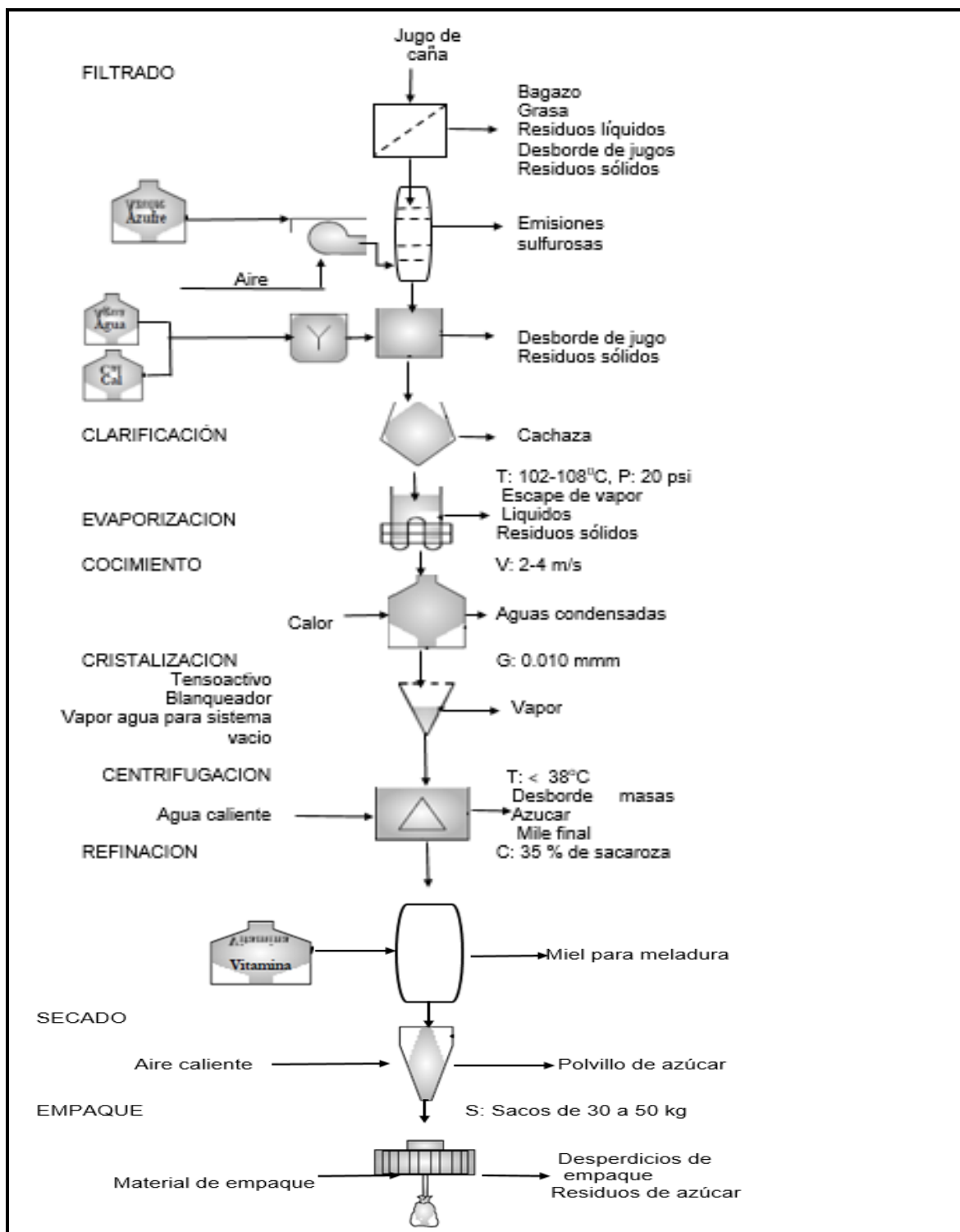
Fuente: Elaborado a partir de Pérez (2018)

Anexo 3: Flujograma para el proceso del área de molinos y cogeneración.



Fuente: Tomado de (International Resources Group (IRG) y Centro Nacional de Producción más Limpia (CNP+LH), 2009)

Anexo 4: Flujograma para el proceso de área de fabricación

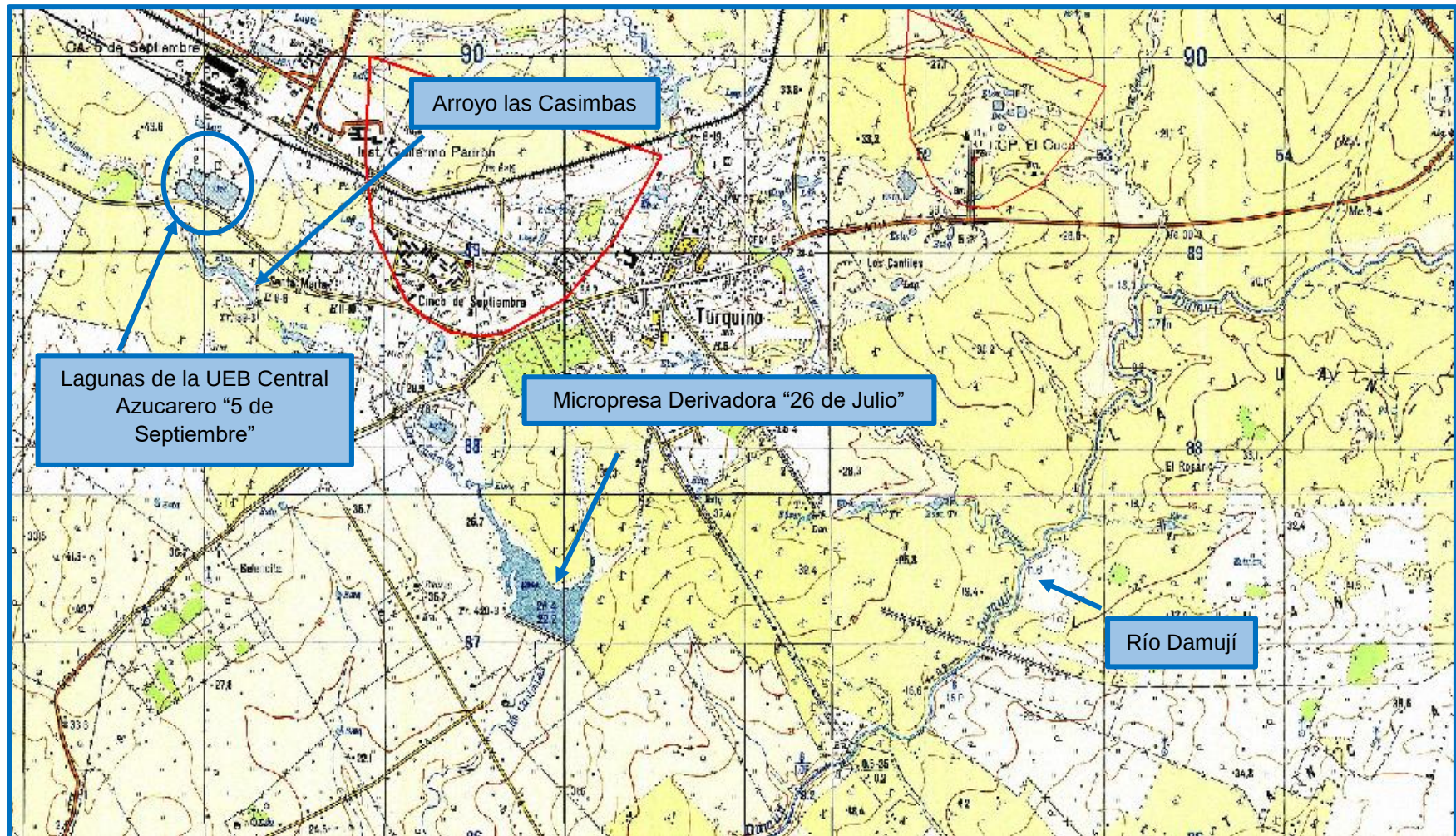


Fuente: Elaborado a partir de (International Resources Group (IRG) y Centro Nacional de Producción más Limpa (CNP+LH), 2009).

Anexo 5: Central Azucarero "5 de Septiembre" y lagunas de tratamiento de residuales



Anexo 6: Mapa de ruta de vertimiento de residuales.



Anexo 7: Ruta de los residuales hasta el río Damují



Anexo 8: Lista de chequeo para diagnóstico rápido de PmL

Datos Generales:	
Empresa:	_____
Categoría de Producción:	_____
Gerente General:	_____
Dirección:	_____ Ciudad: _____
Teléfonos:	_____ Fax: _____
Casilla:	_____ Correo Electrónico: _____
Gerente de Planta (persona de contacto)	_____
Dirección:	_____ Ciudad: _____
Teléfonos:	_____ Fax: _____
Casilla:	_____ Correo Electrónico: _____

DOCUMENTACIÓN REQUERIDA:

- Copia de documento de evaluación ambiental: Licencia o Diagnostico ambiental, auditoría ambiental.
- Lista de productos y subproductos de la compañía, indicando las cantidades producidas en los últimos 12 meses, así como sus precios de venta.
- Indicar en una lista de productos y subproductos, el volumen de producción que se quisiera tener como referencia para la elaboración del proyecto; es decir, sus proyecciones para el futuro. Este dato es fundamental, porque los cálculos contemplados en las recomendaciones de prevención de la contaminación y de eficiencia energética deberán considerar los planes de crecimiento de la empresa.
- Descripción de los procesos de producción, en el que se incluyan todos los procesos y/u operaciones relevantes en orden sucesivo, indicando el objetivo de cada uno(a), así como el flujo y cantidades de los principales insumos y productos. Por favor incluir un diagrama de bloques de los procesos para cada línea de producción. Identificar los cuellos de botella.
- Cada proceso y/u operación de la producción (incluidos en el diagrama de bloques del punto 3), puede ser continuo, por lotes, o una combinación de ambos. En algunos casos, seguramente la información no se encuentra disponible, pero en todo caso, por favor al menos haga estimaciones. Al especificar cantidades, se debe entender que éstas deben referirse a unidades relativas (por ejemplo Kg. /h, Kg. /lote, lotes/día, litros/min., etc.). Es importante aclarar si la información es la

especificada por el fabricante, si fue medida por los técnicos de planta o si se trata de una estimación.

A continuación, le pedimos tenga a bien especificar cada uno de los procesos u operaciones mencionadas:

- Descripción del proceso, explicando objetivos, instrucciones al operador, y especificación de las variables operativas (temperatura, presión, pH, etc.).
- Describir las operaciones de control de calidad, así como el sistema de control de producción. Adjuntar como muestra una hoja de control de proceso (batch sheet).
- Cantidad de todos los materiales que ingresan al proceso, tales como materia prima, agua, energía y otros insumos (no olvidar incluir, por ejemplo, enjuagues y lavados, y su periodicidad).
- Cantidad de materiales que salen del proceso (productos, subproductos y pérdidas, incluyendo residuos y residuos). Indicar si algún material se recicla o reutiliza (por ejemplo recirculación de agua de enfriamiento).
- Descripción de maquinarias y equipos, indicando datos relevantes (como marca, fabricante y año de construcción, dimensiones, uso de vapor y agua, capacidad de producción, eficiencia, velocidades, potencia de los motores, presiones de trabajo, consumo de combustible, etc.).
- Descripción de los servicios internos y externos que se usan en la planta (generación de vapor; recojo de basura; etc.; en lo posible cuantificada, por ejemplo, en Kg. /h). Adjuntar diagrama de vapor, indicando los usos del vapor en la planta, y un diagrama de aguas, indicando su procedencia, tratamiento, si corresponde, y los distintos usos en la planta. Incluir la misma descripción de equipos mencionada en el punto 4.5 para calderas, compresoras de aire, equipo de refrigeración, equipo de tratamiento de aguas. En caso de usar agua de pozo, indicar el caudal promedio y la potencia de las bombas.

Planos de las instalaciones:

- Ubicación de los procesos u operaciones, así como de los equipos auxiliares (calderas, compresoras, refrigeración, tratamiento de aguas, etc.).

Diagrama unifilar

- Ubicación de los sistemas de drenaje de aguas de residuo (industriales y sanitarias)

- Ubicación de los sistemas de distribución de agua en la planta, especificando si se trata de agua de pozo, de la red municipal, lluvia, etc. Ubicación de tanques cisternas de almacenamiento.
- Lista de compras de materia prima, indicando costo-almacén así como cantidades para los últimos doce meses. En la misma tabla incluir el consumo de materia prima en la producción.
- Lista de compras de productos químicos y de otros insumos en general, indicando costo almacén así como cantidades para los últimos doce meses. En la misma tabla incluir el consumo de dichos insumos para la producción. En el caso de productos químicos u otros insumos, cuya composición química se desconozca, favor especificar el nombre comercial y el fabricante. Favor pedir al proveedor toda la información técnica posible.
- Detalle de los servicios públicos utilizados durante los últimos doce meses, para electricidad, agua, gas natural, diesel, gasolina, recojo de residuos sólidos, etc. Este detalle deberá especificar la cantidad consumida así como el monto pagado. Fotocopias de las facturas serían muy útiles. A continuación le proporcionamos un esquema para resumir esta información:

Consumo de agua

Consumo de agua de la red _____ m³ / año Costo: _____ US\$ / año Consumo de agua de pozo _____ m³ / año
 Costo: _____ US\$ / año Consumo otras fuentes _____ m³ / año Costo _____ US\$ / año
 Totales: _____ m³ / año Costo: _____ US\$ / año

Consumo de energía

Eléctrica (Red): Número de Transformadores _____
 Máx. Potencia demandada (total) _____ Kw.
 Transformador 1 _____ Kw. Transformador 2 _____ Kw.
 Energía consumida (total) _____ Kwh. / año
 Autogeneración: Capacidad instalada _____ Kw.
 Generación _____
 Rendimiento _____ Kwh. / unidad
 Combustible: _____ GN mpc / año
 Diesel _____ m³ / año Gasol. _____ m³ / año
 Costo total _____ US\$ / año
 Gas Natural _____ mpc / año Costo _____ US\$ / año
 Gasolina _____ m³ / año Costo _____ US\$ / año
 Otros _____ m³ / año Costo _____ US\$ / año
 Otros _____ m³ / año Costo _____ US\$ / año
 Total _____ US\$ / año
 Principales cargas (energía eléctrica) Costo Total _____ US\$/año

El siguiente listado es sólo un ejemplo; al aplicar el instrumento se deben enumerar los principales usos finales de la energía propios de su planta.

Uso	Descripción	Capacidad
1. Generación de vapor		
2. Molienda		
3. Tamizado		
4. Destilación		
5. Hornos		
6. etc.		

Descargas sólidas

El siguiente cuadro es sólo un ejemplo. La información se debe ajustar a la situación de su empresa, especificando cantidades generadas por año y el costo asociado al o a los servicios de recolección de basura y el costo de disposición de los residuos sólidos u otros; incluyendo los posibles ingresos por venta de residuos u otros similares.

Origen / Descripción	Cantidad [t/año]	Servicio / Destino	Costo / Ingreso [US\$/año]
1. Molienda / materia calcárea		Empresa Aseo Urbano / Relleno Sanitario	Costo del servicio
2. Proceso 1 / sedimentos		Empresa Aseo Urbano / Relleno Sanitario	Costo del servicio
3. Proceso 2 / desperdicios		Empresa XYZ / Alimento balanceado para animales	Monto del ingreso por venta de los desperdicios
4. Destilación / borras		Empresa XYZ / Alimento balanceado para animales	Monto del ingreso por venta de las borras
5. Hornos / cenizas		/ Deposición de partículas finas en área poblada	Costo limpieza del área; y demandas de vecinos
6. (otro).			

DOCUMENTACIÓN REQUERIDA:

1. Información referente a aguas residuales y material de residuo. Favor incluir en esta información solicitada copias de los análisis de laboratorio más representativos. Si no tuviera alguno, es importante que los consiga.
2. Una descripción del calendario de la empresa, incluyendo una estimación del total de días trabajados en los 12 meses pasados, cantidad de turnos por día, días por semana y horas por día. Explicar el régimen de vacaciones y, si es el caso, cuánto tiempo se para la planta a fin de año por las fiestas y por mantenimiento preventivo. Incluir información sobre su personal: Número de ingenieros, técnicos y obreros, así como otros datos pertinentes, tales como políticas de contratación, trabajadores eventuales, capacitación, medidas de seguridad, etc.

Después de analizar todos los datos anteriores, posiblemente su perspectiva respecto de la contaminación y desperdicios de su planta haya cambiado. Por eso queremos verificar su respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué problemas de contaminación enfrenta la compañía actualmente?
- ¿Tiene quejas de vecinos?
- ¿Ha recibido anteriormente o espera recibir inspecciones de instituciones del Estado?
- ¿La construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales está incluida dentro de los planes de la empresa?
- ¿Qué recursos estaría la compañía en condiciones de invertir para mejorar sus problemas de generación de desperdicios y contaminación ambiental?
- ¿La empresa cuenta con un plan destinado al ahorro de energía?
- ¿La empresa recibe asesoramiento en temas de eficiencia energética?
- ¿El personal de la empresa ha recibido algún tipo de entrenamiento en relación con la eficiencia energética?

Anexo 9: Guía metodológica para visitas de diagnóstico rápido

Específica para: Evaluaciones de proyecto de apoyo SERNAUSAID/MIRA

Las visitas tienen como objetivo principal localizar puntos positivos (fortalezas) y problemas (oportunidades) observados durante el recorrido en la empresa. Se trabajará alrededor de los tres principios primordiales de la P+L: eficiencia energética, uso eficiente del agua y de la materia prima. Durante el recorrido en la empresa, se identificará en cada parte del proceso las posibles causas y efectos de la situación actual, tratando a su vez de establecer si afecta el área de costos, impacto ambiental, organización de la empresa o a la seguridad industrial. A la vez se identificará, mediante registros, mediciones, facturas o cualquier evidencia; el gasto en el que se está incurriendo. Este análisis será la base para dar recomendaciones para la solución de los problemas encontrados, el costo de estas recomendaciones deberá ser estimado para tener una comparación precisa entre inversión y ahorro que generaría el cambio.

Durante el recorrido deberá diferenciarse claramente la materia prima de los insumos, identificar todas las entradas al proceso así como las salidas, identificar las etapas del proceso y distinguir claramente los procesos y sub-procesos. Al momento de recolectar la información y luego procesarla, sería conveniente usar un cuadro de situación actual que contenga los siguientes conceptos:

No.	SITUACIÓN ACTUAL			SITUACIÓN FUTURA	
	PROBLEMAS ¿Qué?	POSIBLES CAUSAS ¿Por qué existe el problema?	EFFECTOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL (económicos, seguridad ambiental, organizacional)	POSIBLES MEDIDAS DE MEJORA ¿con que corregir, que hacer?	BENEFICIOS ESPE- RADOS (Cuales y cuanto en dinero)

A continuación se listan una serie de preguntas (para nuestra propia interrogación) que nos pueden servir de recordatorio al momento de hacer nuestras evaluaciones:

AGUA Y AGUA RESIDUAL:

- ¿Están monitoreando el consumo de agua en la empresa? Si _____ No_____ Parcialmente_____
- ¿Saben cuánto es el consumo de agua en cada una de las etapas del proceso?
- ¿Conocen la composición de las aguas residuales?
- ¿Conocen el costo del agua y de las aguas residuales?
- ¿Han considerado la posibilidad de reducir el consumo de agua en su proceso productivo, utilizando las cantidades que realmente necesitan o reutilizando las aguas servidas?

- ¿Controlan el lavado excesivo, derrames o rebalses, en las diversas etapas del proceso de producción?
- ¿Qué tipos de incentivos manejan con los empleados para procurar el ahorro en el consumo de agua?
- ¿Está el personal capacitado en las metodologías a seguir para el ahorro del agua?
- ¿Tienen un programa preventivo de mantenimiento para el equipo de conducción, distribución y operación de agua en la empresa, incluyendo responsables de aplicarlo?
- ¿Tienen un programa de mantenimiento eficiente, que ayuda a reparar rápidamente daños que se puedan presentar en las tuberías y accesorios?
- ¿Tienen dispositivos o separadores sólidos que eviten que éstos lleguen al recolector final de las aguas residuales o bien filtros de grasa y aceite en los sistemas de desagüe?
- ¿Tienen algún sistema de tratamiento para sus aguas residuales?
- ¿Están cumpliendo con las leyes ambientales en cuanto a disposición de aguas residuales?

ENERGÍA

- ¿Controlan el consumo de energía de la empresa? Si _____ No_____ Parcialmente_____
- ¿Saben cuánto es el consumo en cada una de las etapas del proceso?
- ¿Conocen el costo mensual de cada una de las fuentes de energía, asegúrense de listarlas todas?
- ¿Han considerado la posibilidad de reducir el consumo de energía en su proceso productivo, apagando el equipo e instalaciones que no se ocupen?
- ¿Qué disposiciones tienen para el ahorro de energía?
- ¿Qué tipos de incentivos manejan con los empleados para procurar el ahorro de energía?
- ¿Está el personal capacitado en las metodologías a seguir para el ahorro de energía?
- ¿Qué medidas han tomado para controlar la pérdida de energía?

- ¿Tienen un programa preventivo de mantenimiento para el equipo e instalaciones en su empresa, incluyendo responsables de aplicarlo?
- ¿Tienen un programa de mantenimiento eficiente, para reparar rápidamente daños que se pueden presentar?
- ¿Tienen dispositivos de seguridad en los equipos para evitar cortos circuitos, pérdidas de electricidad y daños en la maquinaria?
- ¿Las instalaciones eléctricas y equipos están de acuerdo a las necesidades reales de energía revisando si no están sobre diseñados?
- ¿Han considerado la posibilidad de reducir el consumo de energía en su proceso productivo, estableciendo limites en la temperatura del agua caliente o de los A/A por ejemplo o reutilizando el calor residual?
- ¿Tienen una iluminación adecuada con medidas de bajo consumo?
- ¿Utilizan sistemas eficientes para la producción de agua caliente, vapor, electricidad o enfriamiento?
- ¿Tienen un eficiente sistema de emergencia?
- ¿Tienen un plan de medidas para la reducción de accidentes relacionados con la energía eléctrica?

MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y RESIDUOS.

- ¿Están monitoreando el consumo de materias primas, así como los residuos que se producen en su empresa? Si ____ No ____ Parcialmente ____
- ¿Saben cuánto es el consumo de materias primas en cada una de las etapas del proceso así como la producción de residuos?
- ¿Conocen y controlan la calidad, cantidad y costo de las materias primas?
- ¿Han considerado la posibilidad de reducir el consumo de materias primas en su proceso productivo, utilizando las cantidades que realmente necesitan o reutilizando residuos que se generan?
- ¿Han introducido un sistema para la separación de residuos, colocando recipientes apropiados?
- ¿Controlan la compra y entrega de materiales mediante inventarios, en las diversas etapas del proceso de producción?
- ¿Qué tipos de incentivos manejan con los empleados para procurar el ahorro en el uso de materia prima e insumos, así como para que participen dando sugerencias de materiales alternativos?

- ¿Está el personal capacitado en las metodologías a seguir para el uso eficiente de la materia prima e insumos?
- ¿Tienen medidas adecuadas para proteger la materiales y evitar el daño de estos?
- ¿La metodología que están utilizando en su proceso de producción optimiza el uso de los materiales?
- ¿Manejan un control de todo el equipo, su ubicación, especificaciones y manuales de procedimiento?
- ¿Controlan regularmente los planes de mantenimiento?
- ¿Evitan el uso de sustancias peligrosas o prohibidas, buscando alternativas menos nocivas, manejan un depósito seguro para la disposición de estas?
- ¿Manejan manuales de procedimiento indicando dosificaciones o cantidades de materiales a usar?
- ¿Tienen controles de calidad para reducir el volumen de producto rechazado, considerando el reutilizarlos o reciclarlos?
- ¿Están disponiendo adecuadamente sus residuos en apego a las leyes ambientales?

Anexo 10. Tecnologías utilizadas en la generación de energía eléctrica a partir de biogás.

Tecnología	Rango de Tamaño	Capacidad	Eficiencia del equipo	Ventajas	Desventajas
Motores de combustión interna	8-30 m ³ /min de GRS (asumiendo 50% de metano en el GRS)	800 kW-3MW	25-35%	• Presentan alta eficiencia en comparación con las turbinas de gas y microturbinas. • Son de bajo costo por kW en comparación con las turbinas de gas y microturbinas, y existen en varios tamaños adecuados a los flujos de GRS. • Permite añadir o quitar los motores según las tendencias de recuperación de gas.	• Costos de mantenimiento relativamente altos y la generación de emisiones a la atmósfera. • Requiere de la purificación del combustible con la finalidad de reducir aquellos constituyentes que resultan agresivos para los motores o producen niveles de emisión de contaminantes por encima de los niveles permitidos. • Si los costos de electricidad del mercado son bajos, la rentabilidad de estos equipos resulta marginal.
Turbinas de gas	Flujos de GRS superiores a 40 m ³ /min	3MW-5MW	20-28%	• El costo del kW disminuye con el aumento del tamaño de las turbinas, mejorando a su vez la generación de electricidad. • Mayor resistencia a la corrosión. • Menor nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno.	• Requieren la eliminación de los siloxanos y otras impurezas que pueda traer el GRS.

				• Son más compactas y tienen menores costos de O&M que los motores de combustión interna.	
Microturbinas	Flujo de GRS menor a 8 m ³ /min (con contenido mínimo de metano de hasta el 35%)	30-70-250 kW	20-28%	• Se pueden añadir o quitar en función del flujo de GRS. • Como tienen baja capacidad de generación son fáciles de interconectar y generan menos emisiones de óxidos de nitrógeno. • Tienen un costo de capital reducido, bajo costo de mantenimiento y de las instalaciones y una eficiencia que aumenta con el tamaño.	• Resultan más costosas por kW generado • Requieren de un tratamiento primario del GRS que incluya remoción de siloxanos, humedad, y material particulado.

Anexo 11: Costos de mantenimiento y operación para cada uno de los años de vida útil del proyecto en su primera alternativa

Costos de operación y mantenimiento	1	2	3	4
Costos de operación y Mtto der reactor	28722,00	28722,00	28722,00	28722,00
Costos de operación y Mtto del motogenerador	45016,67	45016,67	45016,67	45016,67
Gastos asociados a la compra del segundo motogenerador	0,00	0,00	0,00	476190,47
Salario del operario del reactor y el motogenerador	8400,00	8400,00	8400,00	8400,00
Depreciación	102696,84	102696,84	102696,84	102696,84
Variación de Capital de trabajo	0,00	0,00	586352,18	586086,06
Total de Salidas	184835,51	184835,51	771187,69	1247112,04

[illegible][illegible]