



Estrategia de producción más limpia para la destilería de alcohol artesanal “San Vicente”, Pastaza, Ecuador

Cleaner production strategy for the artisanal alcohol distillery "San Vicente", Pastaza, Ecuador

Carlos Geovanny Ilibay-Granda ^a, Bryan David González-Morales ^a, Ricardo Daniel Muñoz-Ganan ^a, Liliana Barbara Sarduy-Pereira ^b, Karel Diéguez-Santana ^a

^a Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

^b Unidad Educativa Fiscomisional Cristóbal Colón, Parroquia Shell, Cantón Mera, Pastaza, Ecuador.

Correspondencia: karel.dieguez.santana@gmail.com

Recibido: Agosto 6, 2020. Aceptado: Noviembre 04, 2020. Publicado: Diciembre 12, 2020

Resumen

La caña de azúcar es un cultivo de gran importancia a nivel nacional y es considerada una de las principales materias primas para la fabricación de alcohol artesanal. El objetivo de este estudio es analizar la situación ambiental y proponer estrategias de producción más limpia para mejorar la producción y condiciones ambientales de la destilería artesanal San Vicente, Pastaza, Ecuador. La metodología de trabajo consistió en aplicar herramientas de diagnóstico como la revisión inicial ambiental, eco-balance, y análisis de flujo. Luego se propusieron opciones de producción más limpia, y se analizó la viabilidad técnico-económica. El principal problema ambiental identificado fue la generación de bagazo de la caña de azúcar, y se propuso su empleo como combustible para la destilación y la elaboración de compost. La viabilidad técnica económica mostró resultados positivos pues ambas opciones incrementan las ganancias y los valores de la relación costo beneficio desde 1,41 hasta 1,9 en el caso de la elaboración de compost, que fue la de mayor viabilidad económica. Además, pueden generar beneficios ambientales y efectos positivos a la salud humana. Finalmente, se recomienda la implementación de estrategias de producción más limpia, como una herramienta importante de gestión ambiental aplicable a diferentes actividades económicas.

Palabras clave: indicadores ambientales; Relación costo/beneficio; bagazo de la caña de azúcar; compostaje.

Abstract

Sugar cane is a crop of great importance at the national level and is considered one of the main raw materials for the manufacture of artisanal alcohol. The objective of this study is to analyze the environmental situation and propose cleaner production strategies to improve the production and environmental conditions of the artisanal distillery San Vicente, Pastaza, Ecuador. The work methodology consisted of applying diagnostic tools such as the initial environmental review, eco-balance, and flow analysis. Then cleaner production options were proposed, and the technical-economic feasibility was analyzed. The main environmental problem identified was the generation of bagasse from sugarcane, therefore its use as fuel for distillation and compost elaboration process was proposed. The technical-economic viability showed positive results since both options increase the profits and the values of the cost-benefit ratio from 1,41 to 1,9 in the case of composting, which was the one with the highest economic viability. Furthermore, they can generate environmental benefits and positive effects on human health. Finally, the implementation of cleaner production strategies is recommended as an important environmental management tool applicable to different economic activities.

Keywords: environmental indicators; cost-benefit ratio; sugarcane bagasse; composting.

1. Preparación del manuscrito

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es reconocida como un cultivo importante para los países de las regiones tropicales y subtropicales. Según estadísticas de la FAO, en 2017, se produjeron alrededor de 1841 Mt de caña de azúcar de más de 120 países [13]. Uno de los principales productos que se obtiene de este cultivo es el etanol, ya sea a partir de la melaza resultante de la fabricación de azúcar o directamente del jugo de la caña [15].

Según [3], la producción de bioetanol tiene varios impactos ambientales negativos sobre los ecosistemas, pues genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros potenciales de impacto, que van desde deforestación, alteración de las prácticas agrícolas y sucesiones de cultivos, así como toxicidad por el uso de pesticidas y volúmenes considerables de vinazas generados.

En la provincia Pastaza, Ecuador, la caña de azúcar es el rubro agrícola mayoritario y uno de los principales usos es emplearla en la fabricación de alcohol artesanal [21]. Este proceso es

desarrollado en condiciones bien artesanales y rudimentarias, debido a las falencias de aspectos técnicos en el proceso productivo, lo que no les permite a los productores mejorar tanto su producción, optimizar la materia prima empleada, el reúso de varios de sus componentes o inclusive mejorar la tecnología que se emplea en este tipo de industria.

Por otra parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) definió a la Producción más limpia (PML), como "la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente [22]. Este enfoque se divide en tres niveles jerárquicos de opciones prácticas en términos de desempeño ambiental, que tienen como objetivo priorizar las acciones de un proyecto. Las acciones en el nivel 1 de PML se centran en la eliminación o reducción de residuos, efluentes y emisiones en la fuente [18], mientras las del nivel 2 involucran reciclaje interno, y el nivel 3 de PML involucra el reciclaje externo [14].

Recientemente, se publicó la guía para la implementación de las PML a nivel nacional [9], pero contiene pocos casos de estudio, y varios sectores importantes en la económica nacional, merecen atención, y no han sido analizados. Además, existe poco conocimiento en los sectores productivos en la Amazonia y según la revisión de la literatura, existen estudios de casos limitados sobre la implementación de estrategias de PML.

Basado en ello, el objetivo de este estudio es analizar la situación ambiental y proponer estrategias de producción más limpia para mejorar la producción y condiciones ambientales de la destilería artesanal San Vicente, Pastaza, Ecuador. Además, este documento proporciona información sobre la industria del alcohol en la provincia de Pastaza, para investigaciones o proyectos posteriores.

2. Método

2.1 Localización

La destilería San Vicente se encuentra ubicada en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, parroquia Veracruz, km 8 ½ vía Macas, dentro de la cual existe un clima cálido – húmedo, con temperaturas medias de 18 °C y 25 °C.



Figura 1: Ubicación de la destilería artesanal "San Vicente".

Fuente: Autor(es).

La instalación de la destilería se ubica dentro de un área de 207 m² en la finca de propiedad del señor Carlos Valle, la

cual sostiene en cantidades menores cultivo de caña de azúcar. La Figura 1, muestra la ubicación geográfica de la destilería artesanal "San Vicente".

2.2 Criterios metodológicos empleados para las estrategias de producción más limpia.

Para el desarrollo de la investigación se revisaron las directrices del Programa de Producción más Limpia, diseñado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y la guía de PML de Ecuador [9]. Además, se revisaron documentos publicados de casos de estudios en Ecuador [18, 19], y se dividió en 4 etapas.

Etapa I: Organización y definición de objetivos y metas de PML dentro de la política ambiental de la empresa: En este primer paso se revisó la información de la destilería, su organización y la disposición a revisar las potencialidades de la producción más limpia [8].

Etapa II: Diagnóstico técnico – económico y ambiental preliminar de la empresa o proceso. Comprendió el diagnóstico inicial, donde se obtuvo información productiva, económica y ambiental relevante de la actividad.

Etapa III: Evaluación técnico – económico y ambiental de la empresa. En esta etapa se elaboraron los balances de materiales del proceso. Se identificaron las oportunidades de PML a ser evaluadas en términos técnicos y económicos.

Etapa IV. Formulación de alternativas de producción más limpia: Se analizó la viabilidad técnica, económica y ambiental de opciones de PML propuestas a implementar [1]

2.3 Principales aspectos conceptuales las herramientas de diagnóstico analizadas

Revisión inicial ambiental: Es una herramienta de producción más limpia que permite realizar un diagnóstico minucioso de la situación en la que se encuentra la organización, empresa u asociación con respecto a la situación ambiental. Esta estrategia permite resaltar debilidades, fortaleza y el estado real en el que se encuentran factores como la energía, disposición de agua, residuos sólidos, normas y reglamentos [24]

La información inicial se obtuvo a través de la entrevista in-situ al propietario de la destilería artesanal San Vicente, además se realizó la visita previa a las instalaciones para la recolección de datos y medidas en cada uno de los procesos desde la etapa inicial con la molienda de la caña de azúcar hasta la etapa final con la obtención del alcohol artesanal como producto final.

Eco-balance: Esta herramienta permite identificar específicamente cada proceso que se desarrolla dentro un sistema productivo para analizar y comparar tanto entradas como salidas de la materia prima empleada para obtención del producto final, enfocándose en el acopio y organización de la información recolectada de forma cuantitativa [23]. Para el desarrollo del ecobalance se empleó el programa Microsoft Visio, el cual permitió diseñar un esquema gráfico de forma sencilla y comprensible.

Análisis de flujo: Es una técnica que permite valorar de manera comparativa cada proceso u operación unitaria de un

sistema productivo. Se basa en seguir cronológicamente la cadena de producción, mediante información de manera cuantitativa y gráfica. Permite analizar las cantidades de materia empleadas a la entrada y salidas de cada operación unitaria para implementar estrategias de producción más limpia y aumentar la eficiencia del sistema en general. Para la obtención del alcohol artesanal en la destilería San Vicente, son necesarios 6 procesos unitarios dentro de los cuales se obtuvo la información de manera cuantitativa in-situ, registrando la información en una hoja de cálculo, donde se detalla cada cantidad de materia empleada en los diferentes procesos. Para la tabulación de datos se empleó el programa Microsoft Excel.

3. Resultados

3.1 Organización. Aspectos de la destilería. Descripción de la empresa.

Misión: Producir y ofrecer productos de calidad al consumidor, que generen una experiencia de confort y seguridad, fomentando el consumo adecuado y controlado de alcohol artesanal.

Visión: Formar parte de los mercados de alcohol artesanal reconocidos a nivel local y nacional debido a la calidad del producto que se oferta.

En cuanto a la estructura de la organización, en la tabla 1 se muestra como está conformada la destilería.

Tabla 1. Organización de la destilería artesanal "San Vicente".

Criterio	Descripción
Razón social	Destilería artesanal "San Vicente"
Ubicación de la empresa	Parroquia Veracruz en el km 8 ^{1/2} vía Macas, Pastaza, Ecuador
Propietario legal	Señor Carlos Valle
Actividad económica	Elaboración y comercialización de alcohol artesanal
Tipo de empresa	Microempresa artesanal

3.2 Descripción del proceso

El sistema productivo de la destilería artesanal San Vicente se conforma de seis procesos:

Proceso 1 Molienda: Se da a través de la asociación del motor y el trapiche, para ello se debe tener en cuenta tanto la potencia del molino, como la capacidad de trabajo y la cantidad que puede moler.

Proceso 2 Filtración: En este punto se realiza el apartado de los sólidos resultantes del proceso de molienda con una malla muy delgada para garantizar la pureza del jugo de caña.

Proceso 3 Fermentación: Este proceso se basa en el reposo y fermentación del guarapo (jugo de caña) por un lapso de 2 días si existe residuos de fermentación anterior o 2 días si no lo existiera.

Proceso 4 Circulación: El cuarto proceso consiste en la circulación del guarapo por la tubería hacia el punto de destilación.

Proceso 5 Destilación: El quinto proceso trata de la destilación implementando una temperatura que permita separar el alcohol de los residuos no necesarios.

Proceso 6 Enfriamiento: Finalmente en el sexto proceso se realiza el enfriamiento en el tanque con el serpentín metálico de los residuos sobrantes para su posterior desecho.

3.3 Alcance del diagnóstico de producción más limpia

Para elaborar esta propuesta de producción más limpia se delimitó el alcance del proyecto y para ello se realizó un diagnóstico inicial donde se obtuvo la información a través de la entrevista in-situ al propietario de la destilería artesanal San Vicente, además se realizó la visita previa a las instalaciones para la recolección de datos y medidas en cada uno de los procesos desde la etapa inicial con la molienda de la caña de azúcar hasta la etapa final con la obtención del alcohol artesanal como producto final. Se identificaron las dificultades de cada uno de los procesos y el sistema integrado de producción para buscar las estrategias de producción más limpia que acoplen a la destilería artesanal San Vicente para influir tanto en la mejora de la producción, en el incremento de la economía y en la disminución de impacto ambiental.

3.4 Resultados del diagnóstico de producción más limpia

Eco-balance: En los 6 procesos que tiene la cadena productiva del alcohol artesanal, se emplean diferentes entradas y salidas tanto de materia prima como de residuos. En la primera etapa que consiste en la molienda se manifiesta la generación de residuos debido a la salida de bagazo y guarapo (jugo de caña). En la figura 2, se muestra cada proceso:



Figura 2: Eco-balance de los procesos de la destilería San Vicente. Fuente: Autor(es).

3.4.1 Análisis de flujo

De forma cuantitativa se obtuvo datos reales de cada proceso unitario que conlleva la cadena de producción del alcohol artesanal, donde en el proceso 3 al momento de pasar el guarapo a las cubas, estas tienen la capacidad de almacenar 360 L cada una, existiendo un total de 3, para proceder al reposo. Sin embargo, en el proceso de la destilación es en donde se separa gran cantidad de guarapo fermentado debido a la obtención de solo 40 L de alcohol.

A continuación de detalla cada proceso con sus entradas y salidas en la tabla 2, a continuación:

Tabla 2. Datos de entradas y salidas de cada operación unitaria de la destilería artesanal San Vicente.

Operaciones unitarias de la destilería San Vicente				
Proceso	Entrada		Salida	
Proceso 1 (Molienda de caña de azúcar)	Caña de azúcar	4 m ³	Bagazo	2500 kg
			Jugo de caña	1020 L
Proceso 2 (Filtración)	Jugo de caña	1020 L	Jugo de caña	1020 L
			Residuos sólidos	0.2 kg
Proceso 3 (Fermentación)	Jugo de caña	1020 L	Jugo fermentado	1020 L
Proceso 4 (Circulación)	Jugo fermentado	1020 L	Jugo fermentado	1020 L
Proceso 5 (Destilación)	Jugo fermentado	1020 L	Alcohol artesanal	120 L
			Vinazas	980 L
Proceso 6 (Enfriamiento)	Vapor de agua	654 L	Agua residual	100 L

3.5 Resultados de la propuesta de opciones de PML, optimización, priorización

Dentro de la producción más limpia existen las estrategias de aplicación, que buscan generar ventajas en la industria, procesos, sistemas productivos, ya sean económicos, sociales, ambientales o técnicos [2]. Estos criterios pueden considerarse como una optimización, pues cada etapa viene integrada dentro un programa de producción más limpia, la cual tiene la finalidad de reducir, de rediseñar o de aprovechar, tanto la materia prima como los residuos del sistema productivo. Se propusieron dos opciones relacionadas con el aprovechamiento del bagazo, su uso como combustible y la elaboración de compost.

3.5.1 Aprovechamiento del residuo de bagazo de caña como combustible

En el proceso de molienda se ingresa un total de 4 m³ de caña de azúcar como materia prima, de los cuales solamente se aprovechan 1020 L de jugo de caña, y se desechan 2500 kg de bagazo, lo que al implementar la estrategia implementar combustible alternativo, sustituirá la compra de madera para el proceso de destilación, de manera el señor Carlos Valle reducirá los gastos por la comprar de madera y además permitirá obtener los beneficios ambientales de no consumir madera que provenga de zonas boscosas de la amazonia como combustible. El uso del bagazo como combustible para el proceso de la destilación ha sido analizado en otros estudios de la literatura como Dotaniya et al., [12], donde incluso las cenizas resultantes se han empleado para mejora de los suelos.

3.5.2 Aprovechamiento del residuo de bagazo como abono orgánico

Esta estrategia permitirá valorizar el bagazo restante del proceso de molienda e implementar un proceso de

elaboración de abonos orgánicos con el residuo, lo que permitirá aprovechar este abono para reducir sus gastos al momento de comprar abono comercial para los cultivos que posee en su finca, como papá china, plátano, además de ser un subproducto que también puede ser comercializado a la colectividad agrónoma recibiendo un ingreso económico para su beneficio [5]. El uso del bagazo para la elaboración de compost ha sido abordado en [7], y considerado como una estrategia de PML viable ambientalmente. Para la implementación de la estrategia de producción más limpia e considerarán dos periodos, siendo el primero la recolección del bagazo de caña y el segundo la construcción para realizar el abono orgánico, con una infraestructura de 2,5 m de ancho x 5 m de largo donde reposará el compost hasta completar su proceso de producto final. El compost generado a partir del bagazo de caña de azúcar tiene muchas propiedades nutritivas en la mayoría de los parámetros como fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc., para cualquier tipo de cultivo [6, 17].

Tabla 3. Evaluación económica sin estrategias de producción más limpia para un lote de producción.

Consumos, gastos, productos				
Rubro	Unidad medida	Cantidad	Costo unitario, \$	Costo Total, \$
Entradas				
Materia Prima e Insumos				
Caña de azúcar	m ³	4	30	120
Botellas de plástico de 1L	U	120	0,1	12
Fundas plásticas de envoltura	U	120	0,025	0,4
Subtotal				132,4
Consumo de energéticos y agua				
Electricidad	kwh	5	0,2	1
Diesel	galones	2	1,02	2,04
Madera	m ³	2	10	20
Agua	m ³	1	0,3	0,3
Subtotal				23,34
Talento humano planta				
Trabajadores	Salario/día	2	25	50
Subtotal				50
Salidas Productos terminados				
Alcohol artesanal	L	120	2,5	300
Total de ingresos				300

3.6 Resultados de la viabilidad o evaluación técnico-económica, ambiental del proceso y de las opciones de producciones más limpias

El sistema productivo consta de 6 procesos durante la cadena de producción, la materia prima empleada es la caña de azúcar, combustible fósil (diésel), combustible vegetal (leña), botellas de plástico para su comercialización, además de un total de 2 empleados para manipular los equipos y realizar cada actividad durante los diferentes procesos del sistema productivo. Para la obtención del alcohol artesanal como producto final, se origina residuos de la materia prima, como el bagazo, vapor de agua, cenizas, los cuales no tienen una

disposición final adecuada. Los residuos líquidos que se generan durante el sistema productivo no presentan un tratamiento previo para reducir el impacto que genera si no que son desechados directamente a la zanja que conecta con un estero aguas abajo, provocando una contaminación directa con el recurso hídrico y el medio acuático.

Durante la evaluación económica se determinó que la destiladora de alcohol artesanal San Vicente puede aumentar sus ingresos a través del aprovechamiento del residuo de bagazo tanto como abono orgánico y como combustible para el sistema productivo. La tabla 3, muestra la evaluación económica actual del proceso.

A continuación, se muestra la Fig. 3, con el nuevo proceso tras la implementación de la estrategia de producción más limpia.



Figura 3: Estrategia de producción más limpia en el proceso de la molienda del residuo de bagazo.

Fuente: Autor(es).

3.7 Evaluación de factibilidad técnica-económica

En la tabla 4, se muestran los recursos necesarios para llevar a cabo la evaluación técnica para el proceso de abono orgánico a través del aprovechamiento del residuo de bagazo de caña.

4. Discusión

4.1 Evaluación de Propuesta de PML

4.1.1 Evaluación técnica económica sin estrategias de producción más limpia

En cuanto al estado económico actual de la destilería artesanal San Vicente sin la implementación de las estrategias de producción más limpia. El análisis de los gastos, ingresos y ganancia muestra que existe un gasto total de \$212,74, y los ingresos por ventas son de \$300, lo que reporta una ganancia semanal de \$87,26, lo que muestra una relación costo beneficio de 1,41. Es importante añadir, que en este caso no se pagan montos por alquiler de la instalación, pues está ubicada en los predios del propietario y tampoco se consideran gastos por depreciación de la tecnología, pues la misma tiene más de 10 años de uso y se considera depreciada totalmente.

4.1.2 Evaluación técnica económica con estrategias de producción más limpia

Aprovechamiento del residuo de bagazo de caña como combustible: En el proceso de molienda se generan cantidades considerables de bagazo de caña de azúcar, este sobrante no recibe un tratamiento/aprovechamiento, sino que es descargado a laderas o colocado en terrenos vacíos, por lo

que no se valoran sus potenciales beneficios, como su empleo como combustible alternativo. En el proceso de molienda se desechan 2500 kg de bagazo por cada lote de trabajo, por lo que estas cantidades podrían valorarse dentro del destilería artesanal San Vicente, para combustible alternativo en el proceso de destilación y así reducir los consumos de madera, que son compradas por el propietario para esta función.

El uso de la biomasa para combustible ha sido referido en la revisión de [4], y el poder de combustión que posee el bagazo de caña de azúcar ha sido considerado como una alternativa tanto de aprovechamiento como de optimización de recursos en sector artesanal de producción de alcohol en Latinoamérica [16].

Tabla 4. Evaluación de factibilidad técnica en el aprovechamiento del residuo de bagazo como abono orgánico.

Recurso necesario	Cantidad	Unidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Gastos inversión de la instalación.				
Cemento	4	kg	6,5	26
Varillas de 12 mm	3	kg	2,5	7,5
Jornaleros	3	U	15	45
Carretilla	3	U	13	39
Agua	5	m ³	0,05	0,25
Material lastrado	15	m ³	0,80	12
Hojas de zinc de 2 m	10	U	2,5	25
Palas	2	U	4	8
Pico	1	U	4	4
Vigas de madera de 4m x 15cm x 15cm	6	U	2	12
Vigas de madera de 3m x 10cm x 5cm	6	U	1,25	7,5
Vigas de madera de 3m x 7cm x 4cm	6	U	1	6
Clavos de 3 pulgadas	5	Lb	0,25	1,25
Clavos de zinc	2	Lb	0,30	0,6
Martillos	2	U	2	4
SERRUCHO	1	U	3,5	3,5
Escalera	1	U	10	10
Sub-total de inversión				211.6
Gastos por lote de producción.				
Sacos para empaquetado del abono	20	U	0,15	3.0
Funda plástica para empaquetado de abono	20	U	0,10	2
Hilo para coser sacos de abono (rollos)	2	U	0,50	1.0
Sub-total por lote				6.0
Sub-total de inversión equivalente por lote				2,12
Total de egresos por lote de compost				8,12
Saco de abono orgánico (40 kg)	Saco	20	6	120
Total de ingresos por lote de compost				120

Aprovechamiento del residuo de bagazo de caña como abono orgánico: Esta estrategia permite producir compost que

puede ser empleado como abono y así reducir los gastos de la finca para la adquisición de fertilizantes químicos que se emplean en otros productos agrícolas como papa china, plátano, además de ser un subproducto que también puede ser comercializado a la colectividad agrónoma recibiendo un ingreso económico para su beneficio.

Esta opción puede tener beneficios ambientales puesto que la producción de fertilizantes y la oxidación de nitrógeno aumentan las emisiones de GEI, y la elevada aplicación de fertilizantes fosfatados, y la eliminación de residuos en el suelo o los cuerpos de agua aumentan la eutrofización del agua dulce [10, 11]. Mientras que el aprovechamiento de subproductos puede tener beneficios ambientales en temas de minimización de impactos ambientales con la disminución del uso de fertilizantes químicos [7, 20].

4.2 Evaluación de factibilidad técnica-económica

Al realizar el análisis de los ingresos de la estrategia de aprovechamiento del residuo de bagazo como abono orgánico, se puede observar una mejora económica en el proceso de la destilería, pues los ingresos por concepto de venta o ahorro de fertilizantes serían de \$120, y solo se requeriría gastar \$6,12 por cada lote de trabajo, lo que equivaldría a \$113,88 de ganancia adicional al proceso. Es importante resaltar que los valores de depreciación de los materiales y herramientas considerados fue de \$2,12, pues el monto total fue distribuido para recuperarlo en 100 ciclos de trabajo. Además, la actividad de montar el proceso de compostaje y realizar el volteo semanal y envase del producto, será considerada dentro de las funciones de los dos empleados que trabajan en el proceso. En resumen, al considerar los gastos, ingresos y ganancias del aprovechamiento del residuo de bagazo como abono, los gastos totales serían de \$220,86, los ingresos de \$420, y las ganancias de \$199,1, por lo que la relación costo beneficio sería de 1,9.

Mientras que, al considerar la evaluación económica del aprovechamiento del bagazo como combustible, esto permitiría sustituir el consumo de madera, por lo que se ahorrarían los \$25 de la compra de la madera y por ende los gastos serían de \$187,74 y la relación costo beneficio de 1,60.

5. Conclusiones

Las estrategias de PML identificadas en la destilería artesanal “San Vicente” permiten reducir las cantidades de residuos sólidos (bagazo). El bagazo de caña de azúcar puede ser empleado como abono orgánico y como combustible directo en el proceso, lo que puede sustituir fertilizantes y madera para el proceso de destilación. La factibilidad técnico-económica de estas opciones muestran beneficios económicos, incremento de ganancias para el proceso, entre \$0.19 y \$0.49 respectivamente. Estos ingresos ayudarán a garantizar la rentabilidad de la destilería artesanal “San Vicente” y mejorar el comportamiento ambiental por la reducción en la descargas de los desechos del proceso.

El estudio permitió proponer una nueva metodología para el diagnóstico, y revisión de estrategias de PML que permitan a los microempresarios locales analizar la situación, mejorar la toma de decisiones y considerar los criterios ambientales para disminuir los impactos generados por la actividad.

Finalmente, la investigación permite realzar el rol de las opciones de PML y cómo puede emplearse en diferentes actividades económicas y ser una herramienta de gestión ambiental de gran importancia estratégica en cuanto a ahorro de materia, optimización de recursos, mejoramiento de procesos, entre otros.

Referencias

- [1] Aguinda, N. G. G., Pereira, L. B. S., Crespo, E. O., & Diéguez-Santana, K., Las producciones más limpias en el sector textil manufacturero. Un caso de estudio en Tena, Napo, Ecuador. Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria, 6 (2020) 201-218.
- [2] Almeida, C. M. V. B., Agostinho, F., Huisingh, D., & Giannetti, B. F., Cleaner Production towards a sustainable transition. Journal of Cleaner Production, 142 (2017) 1-7, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.094
- [3] Amores, MJ, Mele, FD, Jiménez, L. & Castells, F., Life cycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Argentina. Int J Life Cycle Assess 18 (2013) 1344-1357. doi: 10.1007/s11367-013-0584-2.
- [4] Arteaga-Pérez, L. E., Segura, C., & Santana, K. D., Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. Afinidad, 73 (573) (2016) 60-68.
- [5] Barahona, C. A. Z., Rodríguez, X. E. S., Ponce, G. I. A., & Zorrilla, M. C. T. (2019). El abono elaborado del bagazo de caña de azúcar como alternativa para la generación de ingresos para los habitantes del sitio San Carlos. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 4(6), 335-351.
- [6] Bohórquez, A., Puentes, J., & Flores, J. C. M., Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 15(1) (2014) 73-81.
- [7] Caiza, D., Chimbo, A., Sarduy Pereira, L. B., Pisco, W., & Diéguez Santana, K., Propuesta de producción más limpia en el proceso de elaboración de abonos orgánicos con desechos del camal, realizado en el relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana. Junio (2018).
- [8] Cárdenas Giler, E. V., Maldonado Erazo, J. M., Valdez Silva, R. A., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K., La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana. Anales Científicos, 80(1) (2019) 76-91, doi: 10.21704/ac.v80i1.1288
- [9] CEER., Guía de producción más limpia: Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción Más limpia CEER. 2019
- [10] Diéguez-Santana, K., Sarduy-Pereira, L. B., Casas-Ledón, Y., Arteaga-Pérez, L. E., Cleaner production implementation in a cacao paste production plant. Journal of Environmental Accounting and Management. 9 (2) (2021) 173-188, doi:10.5890/JEAM.2021.06.006.
- [11] Diéguez-Santana, K., Casas-Ledón, Y., Loureiro-Salabarría, J. A., Pérez-Martínez, A., & Arteaga-Pérez, L. E., A life cycle assessment of bread production: A Cuban case study. Journal of Environmental Accounting and Management, 8(2) (2020) 125-137, doi: 10.5890/JEAM.2020.06.002
- [12] Dotaniya, M. L., Datta, S. C., Biswas, D. R., Dotaniya, C. K., Meena, B. L., Rajendiran, S., Regar, K. L., & Lata, M., Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 5(3) (2016) 185-194, doi:10.1007/s40093-016-0132-8

- [13] FAO STAT., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: División de Estadística. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. 2018.
- [14] Filho, J. C., Nunhes, T. V., & Oliveira, O. J., Guidelines for cleaner production implementation and management in the plastic footwear industry. *Journal of Cleaner Production*, 232 (2019) 822-838. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.343
- [15] García-Prado, R., Pérez-Martínez, A., Diéguez-Santana, K., Mesa-Garriga, L., González-Herrera, I., González-Cortés, M., & González-Suarez, E., Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (75) (2015) 130-142, doi: 10.17533/udea.redin.n75a13.
- [16] Herrera, I., Pérez, J., & Gamarra, A. R., Análisis de ciclo de vida de la producción de etanol combustible proveniente del bagazo de caña de azúcar. Conferencia: III Simposio de la Red Española de ACV: "Inventario de ciclo de vida", Universitat Politècnica de València, Valencia, España. 2016.
- [17] Palma, D., Zavala, J., J.C., C.-R., Ruiz-Maldonado, E., & Salgado-García, S., Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para elaborar abonos orgánicos. *Agroproductividad*, 9 (2016) 29-34.
- [18] Quishpe-López, J. D., Lliguicota-Guarquilla, J.P., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K., La producción más limpia, como estrategia de valorización (ecoeficiencia) del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Revista Científica de la UCSA*, 7(3) (2020) 59-71, doi: 10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.03.059
- [19] Ramos-Ramos, T. P., Guevara-Llerena, D. J., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K., Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesamiento del cacao. Un caso de estudio en Ecuador. *Revista Investigación & Desarrollo*, 20(1) (2020) 135-146, doi: 10.23881/idupbo.020.1-10i
- [20] Soto-Cabrera, A. I., Panimboza-Ojeda, A. P., Ilibay-Granda, C. G., Valverde-Lara, C. R., & Diéguez-Santana, K., Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva*, 18(1) (2020) 60-68, doi: 10.15665/rp.v18i1.2101
- [21] Tuquerres Curipallo, H., Cerda Mejía, G., Tenemasa, V., Diéguez-Santana, K., Carrera Sánchez, K., & Pérez Martínez, A., Process design to obtaining citric acid from the sugarcane bagasse available in Pastaza, Ecuador. *Centro Azúcar*, 47(2) (2020) 86-96.
- [22] UNEP. Resource efficiency and cleaner production. Recuperado de <http://www.unep.org/recp/>. 1990.
- [23] Urraca, E., & Silva, J. Diagnóstico, evaluación y propuesta de manejo ambiental de los residuos sólidos y efluentes en una industria panificadora periodo junio-julio 2015. *Revista Ciencia Y Tecnología*, 12 (3) (2017) 25-39.
- [24] Vargas-Pineda, Ó. I., Trujillo González, J. M., Torres Mora, M. A., Analysis of inclusion of environmental aspects in agro-industrial micro companies of Villavicencio City, Colombia. *Producción + Limpia*, 12(1) (2017) 115-123, doi: 10.22507/pml.v12n1a12.
- [25] Maxwell J.C., A dynamical theory of the electromagnetic field, *Philosophical Transactions of the Royal Society London* 155 (1865) 459-512
- [26] Restrepo G., Los elementos químicos, su matemática y relación con el sistema periódico. *BISTUA Rev. FCB* 2(1) (2004) 91-98. <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2004.17>
- [27] Salazar A., Rueda J.E., Study of energy coupling in a $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ photorefractive material, *BISTUA Rev. FCB* 2(1) (2004) 47-53. <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2004.11>
- [28] Tebaldi M.C., Rueda J.E., Bolognini N., Talbot interferometer based on a birefringence grating, *Optics Communications* 185(1) (2000) 65-76, doi: 10.1016/S0030-4018(00)00988-3
- [29] Murcia R. M. A. Dynamic of the litterfall in a successional gradient of high andean forest of Colombia. *Revista Bistua* 17(3) (2019) 179-186. <https://doi.org/10.24054/01204211.v3.n3.2019.3576>
- [30] Masters T., *Neural Network Recipes in C++*. New York: Academic Press, 1993.
- [31] Dvorak R., Ferraz-Mello, S., Eds., *A Comparison of the dynamical evolution of planetary systems*, Austria, Springer, 2004. <http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-4466-6#sthash.TMeZ8aSQ.dpuf>
- [32] Moyer M.A., Evaluación del lenguaje de ingeniería, en Verdugo – Alonso J. Evaluación curricular: una guía para la intervención del ingeniero, 2a ed., Madrid, Salvat, 1994. pp. 324-344.
- [33] Hoyles C., Noss R., What can digital technologies take from and bring to research in mathematics education? in Bishop, A.J. et al. *Second International Handbook of Mathematics Education*, 2nd edition, Dordrecht, Kluwer Academic, 2003, pp. 323-349. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0273-8_11
- [34] Jeng J.T., Chuang C.C., Chuang, C.-T., Support vector regression based LTS-CPBUM neural networks, *Proceedings of SICE Annual Conference (SICE)*, 2011, pp. 215-220.
- [35] Kawasaki, N. Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow, MSc. Thesis, Department of Electronic Engineering, Osaka University, Osaka, Japan, 1993.
- [36] Williams, J. O. Narrow-band analyzer, PhD dissertation, Department of Electrical Engineering, Harvard University, Cambridge, MA, 1993.