

Alternativas de producción más limpias para la destilería “Puro Puyo”, Pastaza, Ecuador

Cleaner production alternatives for the “Puro Puyo” distillery, Pastaza, Ecuador

Víctor Paul Carvajal-Padilla¹, Robinson Rigoberto Ambuludi-Paredes¹, Erika Amabel Chele-Yumbo¹, Liliana Bárbara Sarduy-Pereira², Karel Diéguez-Santana^{1*}

¹ Facultad Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

⁴ Unidad Educativa Fiscomisional Cristóbal Colón, Ecuador

*Autor de correspondencia: karel.dieguez.santana@gmail.com

RESUMEN— La provincia Pastaza tiene sembrada alrededor de 4,500 hectáreas de caña de azúcar, que corresponde al 55% del total de la Amazonia, y la fabricación de aguardiente de caña de azúcar es una importante actividad económica. El objetivo de este documento fue analizar la situación ambiental y las potencialidades de aplicación de alternativas de producciones más limpias (PML) en la destilería de aguardiente “Puro Puyo”, ubicado en la Finca “Santa María”. Se realizó un diagnóstico inicial in situ de las condiciones del proceso. Se cuantificaron entradas y salidas, se elaboró un ecomapa con los puntos críticos, y se diseñaron tres opciones de PM para ser evaluadas. Los resultados del análisis de viabilidad técnica y económica, de las opciones de PML (recirculación de agua condensada, recuperación de calor y elaboración de compost) muestran que pueden ser favorables al proceso. Las opciones de PML a implementar tienen un incremento del 13.2% en la relación beneficio costo de la Finca “Santa María”. Adicionalmente, indicadores como el consumo de agua, diésel y gas licuado de petróleo (GLP), disminuyeron en un 65%, 70% y 57%, respectivamente, con beneficios económicos y ambientales por el consiguiente ahorro de recursos y disminución de emisiones. Finalmente, la implementación de PML en la destilería puede ser un paso fundamental para alcanzar un superior desarrollo económico y ambiental de las pequeñas y medianas empresas de la región.

Palabras clave— Análisis costo-beneficio, destilería artesanal, indicadores ambientales, Producción más limpia, recirculación.

ABSTRACT— The Pastaza province has planted around 4,500 hectares of sugar cane, which corresponds to 55% of the total in the Amazon, and the manufacture of sugar cane brandy is an important economic activity. The objective of this document was to analyze the environmental situation and the potentialities of applying cleaner production (CP) in the “Puro Puyo” distillery, located in the “Santa María” farm. An initial on-site diagnosis of the process conditions was made. Inputs and outputs were quantified, an ecomap with critical points was prepared, and three CP options were designed to be evaluated. The results of the technical and economic feasibility analysis of the CP options (condensed water recirculation, heat recovery and composting) show that they can be favorable to the process. The CP options to be implemented have an increase of 13.2% in the cost benefit ratio of the “Santa María” farm. Additionally, indicators such as the consumption of water, diesel, and liquefied petroleum gas (LPG), decreased by 65%, 70% and 57%, respectively, with economic and environmental benefits due to the consequent saving of resources and decrease in emissions. Finally, the CP implementation in the distillery can be a fundamental step to achieve superior economic and environmental development for small and medium-sized companies in the region.

Keywords— Cost-benefit analysis, Artisanal distillery, environmental indicators, Cleaner production, recirculation

1. Introducción

El aguardiente, puntas, o puro es una bebida que se elabora fermentados de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de gran consumo por parte de la cultura popular ecuatoriana, su fabricación procede según

varios historiadores desde la conquista española, ya que utilizaban esta bebida para mantener subyugados a los esclavos de la época. En la actualidad se elabora en todas las provincias que tienen sembrados de caña y en los últimos años, se ha convertido en una actividad

Citación: V. Carvajal, R. Ambukudi, E. Chele, L. Pereira y K. Dieguez, “Alternativas de producción más limpias para la destilería “Puro Puyo”, Pastaza, Ecuador”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15,7 no. 1, pp. (no modificar), 2021.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 29 de marzo de 2020 **Recibido con correcciones:** 5 de enero de 2021. **Aceptado:** 5 de enero de 2021.

DOI.

Copyright: 2021 V. Carvajal, R. Ambukudi, E. Chele, L. Pereira y K. Dieguez. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

económica de gran impacto en las provincias amazónicas [1].

La provincia Pastaza según la Asociación de Cañicultores de Pastaza (ASOCAP) produce el 54.40% de toda la caña de azúcar de la Amazonia Ecuatoriana, con un total de 4500 Ha de esta un 65% se utiliza para la fabricación de panelas y el 35% para la fabricación de aguardiente destilado de caña de azúcar, una cifra elevada si se tiene en consideración que las extensiones de superficie que se toman para el cultivo de caña de azúcar corresponde al 9.3% de la superficie habitable dentro de la provincia [2]. Una de las fábricas esta bebida artesanal destilada en producido en la Finca “Santa María” famosa por su marca conocida como “Puro Puyo”.

Aunque estudios mencionan que a pequeña escala se evitan gran parte de los impactos ambientales observados en la producción a gran escala de etanol [3], dado principalmente porque las agroindustrias a pequeña escala consumen menores cantidades de agua [4], también en la etapa agronómica implica un menor uso de fertilizantes, y se preservan mejor los servicios del ecosistema [5]. Aun así, estas instalaciones presentan gran cantidad de deficiencias, en el proceso no existe controles adecuados y periódicos en las cadenas de producción y se encuentra presente pérdidas muy considerables de materia prima y energía, y pueden generar variados impactos ambientales [6]. Curbelo and Acosta [7] mencionan que el bagazo, y la vinaza son los principales residuos resultantes de la producción de alcohol artesanal.

Un instrumento importante durante los últimos 25 años ha sido la aplicación del enfoque de producciones más limpias (PML), que ha demostrado resultados positivos en la mitigación de daños ambientales y la creación de beneficios económicos y sociales. Según Severo, et al. [8], las PML permiten optimizar la producción mediante la reducción del consumo de materia prima, agua y energía. En Ecuador, desde el 2013 el Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia (CEER), promueve el uso eficiente de recursos y la implementación de las PML en los procesos productivos [9], sin embargo, pocos estudios han sido publicados, se ha analizado, por ejemplo, pequeñas manufacturas del sector textil [10], la producción de compost de residuos de camales [11], o granjas de crías porcinas [12], pero restan varios

sectores importantes sin ser analizados, como es el caso de la industria artesanal del alcohol.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar la situación ambiental y las potencialidades de aplicación de alternativas de producciones más limpias (PML) en la destilería de aguardiente “Puro Puyo”, ubicado en la Finca “Santa María”, Pastaza, Ecuador.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización

La finca “Santa María” se encuentra ubicada en la Parroquia Puyo a 1 ½ km vía Puyo – Diez de Agosto, Cantón y Provincia Pastaza, Ecuador. Las características climáticas son de temperatura promedio de 21°C, precipitaciones altas de 2431mm al año, humedad relativa de hasta el 96% y una altitud de 923 msnm. Los suelos son de la clasificación inceptisoles, relativamente pobres en nutrientes pero ricos en drenaje, cualidades que convierten a la finca “Santa María” en un lugar idóneo para actividades agrícolas. La figura 1 muestra, su ubicación geográfica.



Figura 1. Mapa de ubicación de la Finca “Santa María” destilería “Puro Puyo”.

2.1 Criterios metodológicos del análisis de PML

Se analizaron las directrices del Programa de Producción más Limpia, diseñado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la guía de PML de Ecuador [13] y Bolivia [14] y otras literaturas de estudios de casos en Ecuador [10-12], y se dividió en 5 etapas.

Etapa I: Organización y definición de objetivos y metas de PML dentro de la política ambiental de la empresa: En esta parte inicial, se realiza un

acercamiento con el sector de la empresa, donde se exponen los beneficios económicos y ambientales que se pueden lograr con la aplicación de las PML, se organiza el equipo y sus funciones y se identifican los principales obstáculos y barreras. Se definen conceptos sobre la producción más limpia, las buenas prácticas en los sistemas de producción en análisis y la legislación ambiental aplicable para ese tipo de actividad económica [12].

Etapa II: Diagnóstico técnico – económico y ambiental preliminar de la empresa o proceso. En esta parte del procedimiento, se realiza el diagnóstico inicial, se obtiene información sobre la actividad, costos de materia prima e insumos, e información ambiental sobre aquellos procesos que generen impactos negativos al medio ambiente. La obtención de estos elementos se lleva a cabo mediante entrevistas, cuestionarios a los propietarios y trabajadores, etc. Se identifican puntos críticos, se cuantifican las entradas y salidas. y se contrasta con los reportes obtenidos en la primera fase de este trabajo. Posteriormente, se realiza un análisis de costo-ingreso para identificar los ingresos de la empresa y a partir de ese presupuesto incrementar medidas de mejoras al sistema productivo.

Etapa III: Evaluación técnico – económico y ambiental de la empresa. En esta etapa se elaboran los balances de materiales para las operaciones unitarias críticas, se cuantifican las condiciones del proceso mediante el registro de cantidades y costo de materiales, insumos y energía consumidos, de residuos, efluentes, emisiones, productos y subproductos generados, se estiman los costos derivados de las ineficiencias productivas. Se identifican las causas de las ineficiencias y se seleccionan las oportunidades a ser evaluadas en términos técnicos y económicos [13].

Etapa IV. Formulación de alternativas de producción más limpia: A partir de las deficiencias identificadas y las potenciales opciones de PML, estas se ponen en evaluación para valorar su implementación. Se realiza la viabilidad técnica, económica y ambiental de las mismas, así como se realiza la selección de las opciones de mejora factibles a implementar. Se evalúan la variación de los indicadores del proceso (productivo, técnico y ambiental).

3. Resultados

3.1 Etapa I Organización y definición de objetivos de PML

3.1.1 Descripción de la empresa. Política, organización

La microempresa de fabricación de aguardiente “Puro Puyo” es una empresa familiar, enfocada a que producto terminado sea de calidad para el consumidor y a asegurar el bienestar de los trabajadores. En su quehacer empresarial, se observan las variaciones de las tendencias de mercado, existe un trato justo a los clientes en cuestión de reclamos, solicitudes, etc. En el caso del personal laboral debe mantener en todo momento un comportamiento ético con sus semejantes. Mientras con relación al producto final pretende que cumpla con los estándares de calidad y normativas establecidas a nivel nacional e internacional.

La organización de la destilería de Puro Puyo está presidida por el gerente propietario, el cual tiene tres áreas fundamentales dentro del proceso de producción que son: el área marketing que está encargada de la publicidad del producto por todos los medios posibles de manera que este se dé a conocer tanto a nivel local, regional y nacional. La segunda área está conformada por el encargado de producción que tiene funciones sobre el correcto funcionamiento de las sub-áreas que son procesado, destilado, envasado y distribución para que al final de todos estos procesos se obtenga un producto de calidad. Mientras, la tercera área dentro de la empresa es el área económica, donde una especialista en contabilidad se encarga de manejar todos los recursos económicos de la destilería tanto ingresos como egresos de todo el proceso de producción.

3.1.2 Descripción del proceso

La destilería tipo artesanal “Puro Puyo” desarrolla el proceso en 4 etapas principales, que aparecen en figura 2 y se describen a continuación:

- **Corte y traslado:** En este proceso se selecciona la materia prima (caña de azúcar) que se encuentre en su etapa de maduración de manera que no altere la calidad y el sabor del producto final, el corte se realiza lo más bajo posible ya que el azúcar desciende por el tallo, mientras más azúcar se encuentre en la materia prima más alcohol se podrá obtener, una vez realizado el corte se traslada hasta el punto de molienda con ayuda de animales de carga.
- **Molienda:** La caña de azúcar se introduce en los rodillos del trapiche que son accionados por medio de

un motor, para lograr extraer toda la cantidad de jugo posible y por consiguiente obtener mayor cantidad de producto final y el bagazo resultante de este proceso se lo reutilizara con otros fines.

- **Fermentación:** En esta etapa del proceso los azúcares de la caña se transforman en alcohol etílico, para ello, el jugo de caña se dejar reposar durante 5 días, y en las condiciones del lugar, este proceso de fermentación se da de manera natural sin la adición de ningún tipo de levadura.

- **Destilación:** En este proceso se calienta el jugo de caña fermentado a altas temperaturas para que se evapore, de manera que este vapor pase por un serpentín, donde se utiliza agua fría para condensar el vapor con el objetivo de obtener el alcohol.

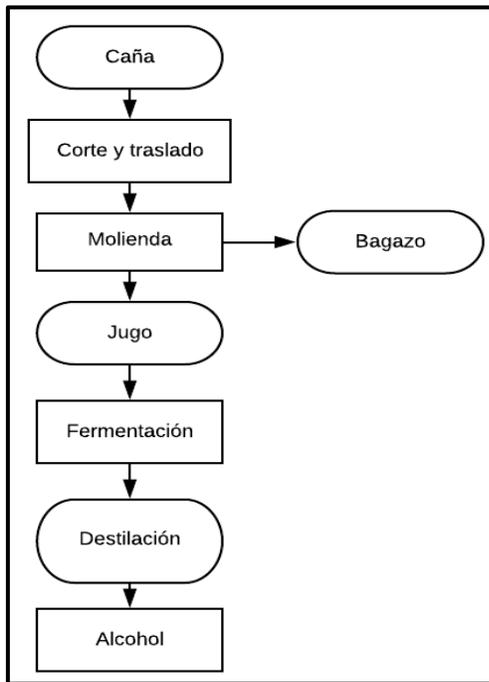


Figura 2. Proceso de elaboración de Puro Puyo.

3.2 Etapa II. Diagnóstico de Producción Más Limpia

En las visitas a la entidad se puede identificar las áreas y el personal clave que labora dentro de las instalaciones de la destilería “Puro Puyo”. Mediante encuestas, entrevistas a los responsables y trabajadores, se analizaron las diferentes actividades que se llevan a cabo dentro de la fábrica para identificar los aspectos e impactos ambientales que se generan, entre los principales tenemos a la generación de bagazo que causa contaminación al suelo y aire debido a que

al permanecer por mucho tiempo a la intemperie esta materia se descompone y producto de ello genera diferentes tipos de olores que afectan directamente al personal que se encuentra laborando en dichas instalaciones, además se pudo evidenciar otro tipo de aspectos e impactos ambientales los cuales se detallan en figura 3.

Producto/ Actividad/ Servicio	Extracción del jugo de caña	Destilación de licor	Destilación de licor	Abastecimiento de combustible a la caldera
Aspectos Ambientales	Generación de bagazo	Generación de agua caliente	Generación de vapor	Derrame de combustible
Impactos Ambientales	Contaminación de suelo y aire	Muerte de microorganismos	Contaminación atmosférica	Contaminación del suelo

Figura 3. Principales aspectos e impactos ambientales en la producción de aguardiente Puro Puyo.

A partir de los resultados de las inspecciones y seguimiento del proceso, se lograron localizar los puntos de riesgo de la destilería de la finca “Santa María”, enfocados hacia la salud de los trabajadores, y el medio ambiente. La figura 4, muestra el ecomapa, donde los principales aspectos ambientales identificados dentro del proceso son el consumo de agua y energía, generación de residuos sólidos, ruido, generación de vapores, que pueden ser potencialmente disminuido con la implementación de estrategias de producción más limpia.

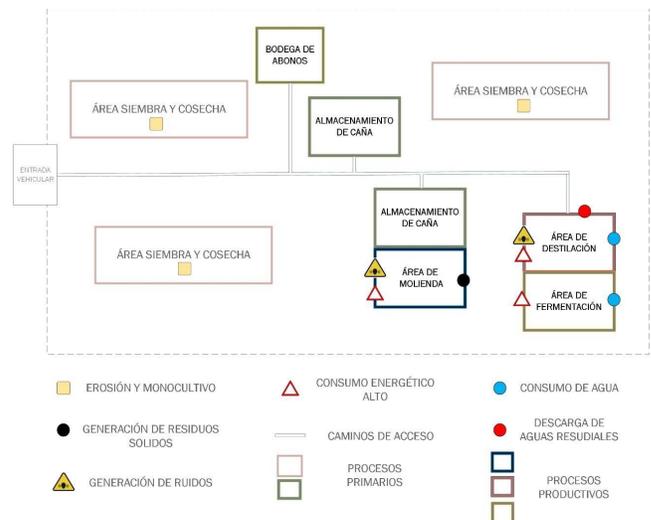


Figura 4. Ecomapa de los procesos encontrados dentro de la finca “Santa María”.

3.3 Etapa III. Evaluación técnica – económico y ambiental

Con la información previamente obtenida durante la inspección de la actividad se cuantificaron las entradas y salidas de los diferentes procesos que están inmersos en la fabricación del aguardiente, siendo los más importantes, la molienda, fermentación, destilación y condensación los cuales se reflejan en la Figura 5.

Para producir 380kg de aguardiente, se consumen 15790kg de caña, y se generan 3790kg de bagazo. Adicionalmente, en el proceso se generan cantidades elevadas de aguas residuales, pues los volúmenes de vinazas, provenientes de la destilación y algunos restos del proceso de fermentación, no están siendo dispuestas correctamente y son un problema ambiental en la finca, puesto que su vertido se hace directamente a suelos y cuerpos de agua adyacentes al lugar, donde pueden incrementar el potencial de acidificación y eutrofización [15], [16]. Aunque, resultados del monitoreo, presentaron que cumplían con los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, de descargas a cuerpos de agua dulce.

Mientras, la tabla 1, muestra las materias primas, insumos, energéticos, mano de obra, y otros gastos necesarios para un ciclo productivo semanal.

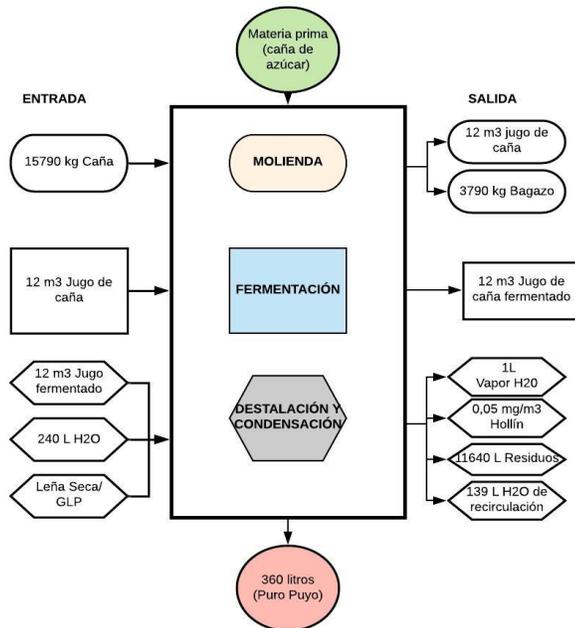


Figura 5. Análisis de procesos en la fabricación de aguardiente “Puro Puyo”.

Tabla 1. Balance de materias primas, insumos, consumos energéticos, gastos mensuales del proceso.

Indicador	Unidad medida	Cantidad	Costo unitario, \$	Costo Total, \$
Consumos, gastos, productos				
Caña de azúcar	L	48000	0.05	2400
Subtotal				2400
Consumo energéticos y agua				
Electricidad	Kwh	320	0.09	28.8
Agua	m³	120	0.19	30.4
Diésel	Galones	400	1.48	592
GLP	kg	120	0.2	24
Subtotal				675.2
Mano de obra				
Trabajadores	Salario	4	140	560
Seguro trabajadores/Aporte IESS	Salario	4	88	352
Subtotal				912
Depreciación				
Equipamiento	U	1	84.44	84.44
Subtotal				84.44
Servicios y otros gastos				
Permisos de funcionamiento	año	1	95	7.92
Transporte	Semanal	4	25	100
Mantenimiento	Semanal	4	25	100
Agua de beber	U	12	1.5	18
Subtotal				225.9
Total egresos				4297.2
Productos terminados				
Aguardiente	L	1520	3	4560
Total ingresos				4560

Basado en estos valores, la ganancia mensual solamente es de \$262.44 y la relación beneficio/costo es de 1.06, es decir que la microempresa solo percibe \$0.06 de ganancia por cada dólar que se invierte en el proceso. Un valor bien pequeño, por lo que se requieren alternativas que revaloricen la actividad.

3.4 Etapa IV-Formulación de opciones PML. Viabilidad Técnico-Económica y ambiental

3.4.1 Formulación de opciones PML

Basado en los resultados se proponen 3 opciones de PML, que son descritas a continuación:

Opción 1. Recirculación de agua condensada: Esta opción incluye la implementación de un sistema de recirculación del agua condensada. El volumen del condensado es proporcional al volumen del vapor que se encuentra dentro de la caldera, es por esta razón que, al lograr la recirculación, el volumen del agua permanecerá constante, para lograr este objetivo se debe implementar un sistema de tubería que conecte a un tanque para almacenar los condensados y poder controlar el volumen de agua utilizado dentro del ciclo y posteriormente reutilizarlo en la caldera generadora. Cabe recalcar que todo este proceso va a estar acorde a las características de los equipos con que cuenta la empresa. En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo con la instalación propuesta.

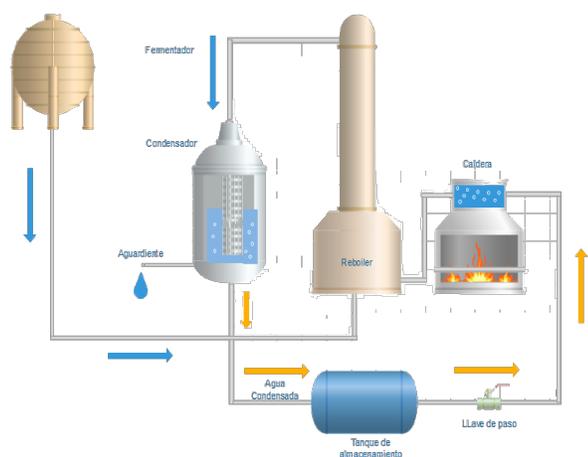


Figura 6. Diagrama de flujo para la recuperación del condensado.

Opción 2. Recuperación de calor: En esta alternativa, se propone un sistema de recuperación de calor, para reducir la utilización de agua en el proceso de enfriamiento y para aumentar la temperatura del jugo de caña antes de su ingreso en la caldera, ahorrando significativamente costos económicos en la compra de combustibles para generar calor y disminuir considerablemente la utilización de agua como refrigerante para el proceso de destilación. Este sistema de recuperación de calor, es un sistema básico y para su correcta instalación y funcionamiento se necesitan implementar 3 m de tubería de acero inoxidable desde

los tanques contenedores del jugo de caña fermentado hasta el tanque que alberga el serpentín que contiene el aguardiente en estado de vapor (1), además una tubería para la recirculación del jugo de caña que previamente estuvo un contacto directo con el serpentín y se conecta al reboiler (2), para que el jugo ingrese previamente calentado. Y finalmente, la circulación del vapor del aguardiente hacia el serpentín, donde por el intercambio con el jugo de caña frío, procederá a condensarse el aguardiente más fácilmente. La figura 7, muestra el diseño de la alternativa propuesta.

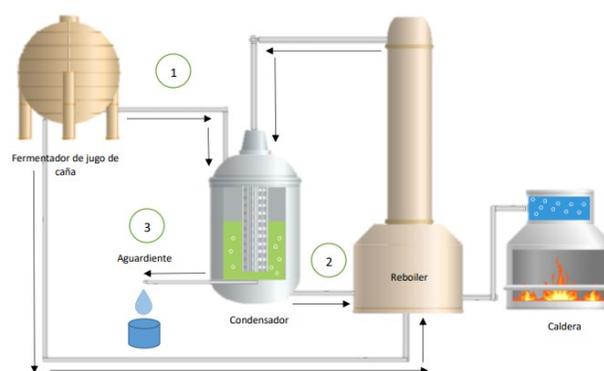


Figura 7. Diseño de alternativa para la reducción de costos energéticos en la producción de aguardiente de caña de azúcar.

Opción 3. Reutilización de los residuos orgánicos, mediante proceso de compostaje: Esta opción se desarrollará en 5 etapas como muestra la figura 8. La primera comienza con la recolección de la materia prima, en este caso el bagazo producto de la molienda de la caña de azúcar, que se complementará con el estiércol de los animales que utilizan para la recolección de la caña de azúcar proveniente de los campos de la finca. Como el bagazo se encuentra con un tamaño de partícula superior a los 20cm, es necesario triturarlo, por lo que se empleará una trituradora modelo Echo Sc3208, que es un equipo efectivo, cuenta con dos cuchillas y ocho cuchillos de destrozo reversibles y proporcionan un método eficiente en cuanto a energía, vibración, etc. Una vez triturado el bagazo, tendrá la masa una aportación de aire, porosidad y humedad adecuada [11]. Posteriormente, se comenzará la preparación del plato, donde colocará una capa de material vegetal, una capa de cachaza y estiércol, además se le adiciona cal agrícola o ceniza para enriquecer el compost. Para almacenar 1000kg de bagazo triturado, es necesario una caja de almacenamiento con de 2,5 x 5 x 0.9 metros de ancho,

largo y profundidad, respectivamente, luego, se cubrirá con plástico negro para evitar malos olores y una vez a la semana se arrojará cal en los alrededores de la cama para no atraer vectores. El proceso de recolección de lixiviados se realizará en baldes cada mañana y serán transportados a un tanque de concreto y para ser usado en humedecer las pilas, mientras que para airear la pila y reducir la temperatura de esta se efectuarán volteos semanales. Finalmente, una vez concluido el proceso y alcanzada la maduración del compost, durante 12 semanas, el producto será esparcido en un lugar seco, ventilado para ser secado, luego será molido, para reducir las partículas de mayor tamaño y empacar para comercializar el producto final.

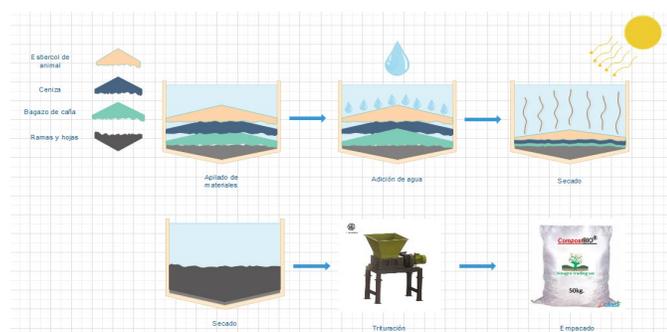


Figura 8. Diseño de alternativa de fabricación de compost con bagazo de caña.

3.4.2 Viabilidad Técnico-Económica y ambiental de las opciones PML

A partir de las tres opciones planteadas se analizó la viabilidad de la implementación desde el punto de vista técnico-económico y ambiental. La tabla 2 muestra la comparación de los indicadores de gasto del proceso sin las opciones de PML y con la implementación de las tres opciones.

Tabla 2. Comparación de los diferentes indicadores de gastos de la producción de aguardiente sin opciones PML y con la implementación de estas.

Indicador de gasto	Sin PML, \$	Con PML, \$	Diferencia, USD
Materia prima	2400	2400	-
Energéticos y agua	675.2	473.17	-202.03
Mano de obra	912	912	0
Depreciación activos	21.11	48.63	27.52
Servicios y otros gastos	225.92	225.92	0
Totales	4234.23	4059.72	-174.51

Como se puede apreciar la incorporación de las opciones de PML, disminuye en \$174.51 los gastos totales, dado por una disminución de alrededor de un 30%, de los consumos energéticos y agua (\$202.03), los indicadores de materia prima, mano de obra y servicios se mantienen igual en los dos escenarios comparativos, puesto que las nuevas implementaciones requerirán lo mismo. Mientras, en la depreciación de activos fijos, se observa un incremento de un 30.36% (\$27.52), que es producto de los nuevos equipos y utensilios que necesitan las tres opciones planteadas. La tabla 2, muestra un desglose de las cantidades, precios de los equipos/útiles necesarios para la implementación de las tres opciones, planificados para una vida útil de 5 años (120 meses).

Tabla 3. Equipos, utensilios para la implementación de opciones PML.

Equipo/Útiles	\$	Cantidad	Depreciación \$/mes	Costo Total, \$
Tubo de acero inoxidable	6.66	9	0.06	0.50
Codos de acero inoxidable	2.5	1	0.02	0.02
Llave de paso	10	1	0.08	0.08
Tanque de almacenamiento	250	1	2.08	2.08
Trituradora Echo Sc3208	2980	1	24.83	24.83

En los aspectos de los equipos sobresale la trituradora Echo Sc3208, que se empleará para triturar las fracciones de gran tamaño del proceso de compost, de la opción 3. reutilización de los residuos orgánicos. Es cierto que esta opción es la que implica una inversión mayor, pero los implementos a adquirir son necesarios para la elaboración del compost y aunque su compra se realizaría al inicio del proceso del compost con una inversión de \$3000 tendría una vida útil de 5 años, por lo que la inversión será recuperable al momento de producir el abono orgánico, pues con las cantidades de bagazo, se producirán mensualmente 850kg de abono orgánico, lo que genera un ingreso económico adicional de \$297.5.

Tabla 4. Indicadores ambientales y productivos de las propuestas de PML por cada L de aguardiente producido

Indicador	Unidad	SIN PML	CON PML
Agua	L	105.26	36.84
Diésel	Galón	0.26	0.113
GLP	kg	0.15	0.045
Compost	kg	0.00	2.24

En lo que respecta a los ahorros significativos de agua, diésel y GLP, estos están asociados a las opciones de recirculación de agua condensada y de calor (opciones 1+2), pues ambas contribuirán a disminuir el consumo de energéticos, en el caso de la primera puesto que el agua condensada ingresará a la caldera a una temperatura superior (temperatura promedio de 80°C a la salida del proceso) a la actual (temperatura ambiental de 20-25°C), por lo que la energía para ese incremento desde 25 a 80°C, no será necesaria, mientras la recuperación del calor, contribuirá pues el jugo de caña fermentado ingresara al reboiler previamente calentado alrededor de 55°C, por lo que también se evitara el consumo de diésel y gas en la fase del proceso destilación por esta alternativa. En resumen, las dos opciones generaran una reducción del 57% y 70% del diésel y GLP consumido. Adicionalmente, la opción 1 de recirculación del agua, permitirá ahorrar mensualmente 64 m³ de agua, un ahorro equivalente al 65% del proceso actual.

Estudios similares, incorporan medidas como estas, por ejemplo, el realizado por Chou Rodríguez, et al. [17] manifiesta que la recirculación del agua es viable, puesto que después de su implementación se logró un ahorro anual de \$11,386.32. Por su parte, la opción 2, también han dado resultados positivos y como expone Fundora [18] un sistema de recirculación de calor entre los condensadores y las calderas puede reducir entre un 20% y 70% la utilización de combustibles fósiles como diésel y GLP, por lo que es una opción viable tanto económica como sustentable. Sin embargo, los sistemas de aislamiento térmico influyen considerablemente al momento de calcular la eficiencia del sistema, ya que las fugas de calor son muy comunes en este tipo de alternativas.

En cuanto a las salidas, la principal diferencia está dada por el nuevo producto que se obtiene, 850kg de compost del bagazo de la caña de azúcar, que vendido a 0.35\$/kg, reportará ingresos adicionales de \$297.5, lo

que, unido a la venta del aguardiente, generará ingresos totales de \$4857.5, dando una ganancia de \$797.78. Por lo que la relación costo beneficio con las opciones PML, será de 1.2, un valor superior a sin las opciones (1.06).

4. Conclusiones

El diagnóstico realizado en la destilería "Puro Puyo" muestra varias deficiencias, consumos elevados de energéticos, pérdidas caloríficas, generación de residuos sin valorización. La microempresa tiene un margen muy pequeño de ganancia con la actividad (Relación Costo Beneficio de 1.06), por lo que propusieron tres opciones de PML a implementar en la Finca "Santa María", en este caso, la recuperación de agua, calor y el aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar. El análisis de la viabilidad técnica económica y ambiental, muestra resultados favorables, puesto que con la implementación de las opciones de PML (recirculación de agua condensada y recuperación de calor) se logró disminuir el consumo de agua, diésel y GLP en una 65%, 57% y 70% respectivamente, con beneficios económicos y ambientales por el consiguiente ahorro de recursos y disminución de emisiones. La relación costo-beneficio con la implementación de las tres opciones, mejora en un 13.2% (1.2) y los indicadores ambientales/productivos de la producción de aguardiente "Puro Puyo". Finalmente, se recomienda considerar las buenas prácticas de manufactura y realizar investigaciones futuras sobre otras corrientes residuales de la actividad que puedan minimizar la contaminación ambiental que se genera en el proceso de la destilería

REFERENCIAS

- [1] M. A. A. Ríos and N. Ullauri Donoso, "Historia del Agroturismo en el cantón Cuenca Ecuador/History of Agrotourism in the canton of Cuenca Ecuador," *Pasos*, vol. 13, no. 5, pp. 1199-1212, 2015.
- [2] P. d. O. T. Pastaza, "Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de pastaza al año 2025," ed: Puyo: Equipo técnico de planificación del gad provincial encargado del ..., 2017.
- [3] M. R. Maroun and E. L. La Rovere, "Ethanol and food production by family smallholdings in rural Brazil: Economic and socio-environmental analysis of micro distilleries in the State of Rio Grande do Sul," *Biomass and Bioenergy*, vol. 63, pp. 140-155, 2014.
- [4] C. d. L. F. Pereira, "Avaliação da sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais, estudo de caso: suco

- de laranja e etanol," PhD, Departamento de Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos., Campinas University State, Campinas, SP, 2008.
- [5] A. M. Souza, "Sustentabilidade e viabilidade econômica de um projeto de microdestilaria de álcool combutível em um grupo de agricultores do assentamento gleba XV de Novembro," PhD, Laboratorio de Engenharia Ecologica e Informatica Aplicada. Departamento de Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil, 2010.
- [6] R. García-Prado *et al.*, "Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol," *Revista Facultad de Ingeniería*, no. 75, pp. 130-142, 2015.
- [7] J. M. C. Curbelo and Y. L. Acosta, "Alternativas detratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales," *Revista Centro Azúcar*, vol. 41, no. 2, pp. 56-67, 2014.
- [8] E. A. Severo, J. C. F. d. Guimarães, and E. C. H. Dorion, "Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries," *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, pp. 87-97, 2017.
- [9] CEER. (2016, 29 de julio). *Centro de Eficiencia de Recursos y Producción Más Limpia en Ecuador*. Available: <https://www.industrias.gob.ec/centro-de-eficiencia-de-recursos-y-produccion-mas-limpia/>.
- [10] N. G. G. Aguinda, L. B. S. Pereira, E. O. Crespo, and K. Diéguez-Santana, "Las producciones más limpias en el sector textil manufacturero. Un caso de estudio en Tena, Napo, Ecuador," *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, vol. 6, pp. 201-218, 2020.
- [11] D. Caiza, A. Chimbo, L. B. Sarduy Pereira, W. Pisco, and K. Diéguez Santanaa, "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*, 2018.
- [12] E. V. Cárdenas Giler, J. M. Maldonado Erazo, R. A. Valdez Silva, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana," *Anales Científicos*, vol. 80, no. 1, pp. 76-91, 2019.
- [13] CEER, *Guía de producción más limpia*. Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción Más limpia CEER 2019, p. 47.
- [14] CPTS, *Guía Técnica General de Producción más Limpia*. La Paz, Bolivia: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles, CPTS, USAID, 2005, p. 184.
- [15] K. Diéguez-Santana, Y. Casas-Ledón, J. A. Loureiro Salabarría, A. Pérez-Martínez, and L. E. Arteaga-Pérez, "A life cycle assessment of bread production: A Cuban case study," *Journal of Environmental Accounting and Management*, vol. 8, no. 2, pp. 125-137, 2020.
- [16] A. I. Soto-Cabrera, A. P. Panimboza-Ojeda, C. G. Ilibay-Granda, C. R. Valverde-Lara, and K. Diéguez-Santana, "Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador," *Prospectiva*, vol. 18, no. 1, 2020.
- [17] E. M. Chou Rodríguez, Y. García Martínez, A. d. I. C. Bermúdez Chou, and L. Pisch Vidal, "Evaluación de producción más limpia en el proceso de leche y derivados de la soya," *Tecnología Química*, vol. 38, no. 2, pp. 428-436, 2018.
- [18] Y. G. Fundora, "Esquema de evaporación flexible para la producción integrada de azúcar y alcohol," *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 42, no. 1-3, pp. 28-36, 2008.