



Innovación sostenible: optimización de recursos y reducción de residuos en la producción de licor artesanal en Pastaza

Sustainable innovation: Optimizing resources and reducing waste in the production of artisanal liquor in Pastaza

Cholango Imbaquingo Oliver Francisco  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Begay Andi Diego Fernando  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Guevara Gómez Jefferson Daniel  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Caiza López Daysi Lorena  
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Resumen

La producción de licor artesanal en la Amazonía ecuatoriana representa una actividad cultural y económica relevante que enfrenta desafíos ambientales por el uso intensivo de agua, energía y generación de residuos. Este estudio tuvo como objetivo proponer estrategias de Producción Más Limpia en la microempresa Puro-Puyo, Pastaza, orientadas a la optimización del uso de recursos y la reducción de impactos ambientales. Metodológicamente, se aplicaron herramientas de diagnóstico como diagrama de flujo, ecomapa, balances de materia y energía, y matrices de priorización para identificar puntos críticos del proceso productivo. Los resultados evidenciaron que la destilación y la molienda concentran las principales ineficiencias, destacando la generación de vinazas (620 L/día), el elevado consumo hídrico (845 L/día) y el uso de diésel (20 L/día). Se propuso un paquete de mejoras tecnológicas como un biodigestor anaerobio, compostaje de bagazo y circuito cerrado de enfriamiento con una inversión total de \$2,300, un beneficio económico estimado de \$13,781 anuales y un período de recuperación de aproximadamente dos meses. Se concluye que la PML permite mejorar simultáneamente el desempeño ambiental y económico, integrando innovación sostenible sin afectar los saberes tradicionales y contribuyendo al desarrollo sostenible en contextos amazónicos.

Palabras clave: producción más limpia, licor artesanal, vinazas, ecoeficiencia, Amazonía ecuatoriana.

Recibido: 23-03-2026

Aceptado: 24-03-2026

Publicado: 25-03-2026



Abstract

The production of artisanal liquor in the Ecuadorian Amazon represents a significant cultural and economic activity that faces environmental challenges due to the intensive use of water, energy, and waste generation. This study aimed to propose Cleaner Production (CP) strategies at the Puro-Puyo microenterprise, Pastaza, oriented toward optimizing resource use and reducing environmental impacts. Methodologically, diagnostic tools such as flow diagrams, ecomaps, mass and energy balances, and prioritization matrices were applied to identify critical points in the production process. The results showed that distillation and milling concentrate the main inefficiencies, highlighting the generation of vinasse (620 L/day), high water consumption (845 L/day), and diesel use (20 L/day). A package of technological improvements was proposed, including an anaerobic biodigester, bagasse composting, and a closed-loop cooling system, with a total investment of \$2,300, an estimated annual economic benefit of \$13,781, and a payback period of approximately two months. It is concluded that CP allows for the simultaneous improvement of environmental and economic performance, integrating sustainable innovation without affecting traditional knowledge and contributing to sustainable development in Amazonian contexts.

Keywords: cleaner production, artisanal liquor, vinazas, eco-efficiency, Ecuadorian Amazon.

Introducción

En la región amazónica del Ecuador, la producción artesanal de bebidas ancestrales como el licor artesanal o aguardiente constituye una práctica cultural profundamente arraigada, que se ha transmitido por generaciones y que representa una fuente complementaria de ingresos para numerosas familias. En la ciudad de Puyo y sus alrededores, este microemprendimiento se desarrolla mediante técnicas tradicionales que, si bien conservan el valor cultural y la identidad territorial, también enfrentan crecientes desafíos ambientales y productivos (Aguar et al., 2021).



La elaboración artesanal de licor implica procesos como la recepción de materia prima, la molienda de la caña de azúcar, la fermentación natural del guarapo y la destilación en alambiques, actividades ampliamente descritas, en estudios relacionados con destilerías de pequeña escala. Estos procesos, al ser efectuados en instalaciones básicas y con recursos limitados, suelen generar altos consumos de agua y energía, así como una cantidad considerable de residuos orgánicos y efluentes líquidos que, en muchos casos, no reciben tratamiento adecuado (Ilibay-Granda, 2021).

El problema ambiental principal que enfrenta este tipo de microemprendimiento radica en el uso intensivo de recursos naturales, especialmente agua y biomasa forestal, necesaria para la producción de calor durante la destilación (Aguar et al., 2021). La elevada demanda de agua para el enfriamiento en los alambiques, sumada a la generación continua de residuos como bagazo, lodos de fermentación y aguas residuales, puede provocar afectaciones en ecosistemas circundantes altamente sensibles, tal como lo señalan los estudios territoriales del sector (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza [GADPZ], 2017).

En una zona donde los ríos, quebradas y suelos actúan como pilares del equilibrio ecológico, la falta de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de subproductos se traduce en pérdidas económicas, deterioro ambiental y riesgos para la salud comunitaria (Carvajal-Padilla, 2021). La quema de leña para calentar los alambiques contribuye indirectamente a la deforestación, agravada por la ausencia de prácticas de manejo sostenible de la biomasa.

Para enfrentar este desafío, la Producción Más Limpia (PML) surge como un enfoque estratégico esencial. La PML, centrada en la prevención de la contaminación desde el origen del proceso productivo, busca aumentar la eficiencia en el uso de recursos, disminuir la generación de residuos y promover el desarrollo sostenible en actividades industriales y agroindustriales (Aguar et al., 2021). Su importancia en el medio del microemprendimiento de aguardiente en Puyo es particularmente relevante debido a



las características del entorno amazónico, donde los ecosistemas son altamente vulnerables a la presión antropogénica y donde las prácticas artesanales pueden ocasionar impactos acumulativos (GADPZ, 2017). Aplicar estrategias de PML constituye una oportunidad para optimizar recursos, mejorar la eficiencia operativa e incorporar tecnologías adaptadas a realidades comunitarias (Ilibay-Granda, 2021).

La aplicación de Producción Más Limpia no implica sustituir los conocimientos tradicionales ni eliminar las prácticas culturales asociadas al aguardiente artesanal. La PML se integra adecuadamente con estos saberes locales, permitiendo un marco de mejora continua mediante la reorganización de procesos, el uso eficiente de insumos y la incorporación de soluciones accesibles como sistemas de recirculación de agua o mejoras en la eficiencia térmica de los alambiques (Alvarado Ludeña, 2021). Desde este enfoque, la innovación sostenible actúa como puente entre tradición y modernidad, impulsando la competitividad y reduciendo los costos operativos del emprendimiento.

El sustento ideal de este estudio se fundamenta en la integración de la innovación sostenible, la optimización de recursos y la Producción Más Limpia. La innovación sostenible, entendida como la incorporación de mejoras tecnológicas, organizativas o ambientales que generan valor económico reduciendo la presión sobre los recursos naturales, resulta fundamental para el desarrollo de microemprendimientos amazónicos (ProAmazonía, 2021). La optimización de recursos implica usar de manera eficiente agua, energía y biomasa, disminuyendo pérdidas y evitando desperdicios. La PML articula ambos principios, priorizando la reducción de residuos desde la fuente y evitando soluciones reactivas o costosas. Este sustento conceptual integrado ha sido confirmado en investigaciones de agroindustrias tradicionales que demuestran la relevancia de mejorar los procesos fermentativos, energéticos y de manejo de residuos (Quishpe-López, 2020).

Desde una perspectiva científica, múltiples estudios en microindustrias agroalimentarias evidencian que la optimización de procesos mediante PML reduce



significativamente impactos ambientales, mejora el rendimiento y promueve la sostenibilidad económica (Instituto de Investigación Sinchi, 2023). La valorización del bagazo como insumo agrícola o energético contribuye tanto a disminuir la presión ambiental como a generar beneficios adicionales. De igual forma, el GADPZ (2017) señala que las actividades productivas en la Amazonía deben incorporar medidas preventivas debido a la sensibilidad ambiental del territorio, reforzando la necesidad de modelos ecoeficientes.

La justificación práctica de este estudio se sustenta en la urgencia de mejorar la eficiencia y reducir costos en el microemprendimiento de licor artesanal en Puyo. La implementación de prácticas de PML permite disminuir el consumo de agua y energía, reducir desperdicios de materia prima, mejorar la calidad del aguardiente y promover un ambiente de trabajo más seguro. Además, fortalece la imagen ambientalmente responsable del emprendimiento, lo cual es un factor diferenciador en mercados que valoran productos artesanales con trazabilidad ecológica y cultural (GADPZ, 2017).

El presente estudio tiene como objetivo proponer estrategias de innovación sostenible basadas en el enfoque de Producción Más Limpia para la optimización del uso de recursos, la minimización de la generación de residuos y la mejora de la ecoeficiencia en la producción de licor artesanal en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza.

Metodología / Descripción de la experiencia

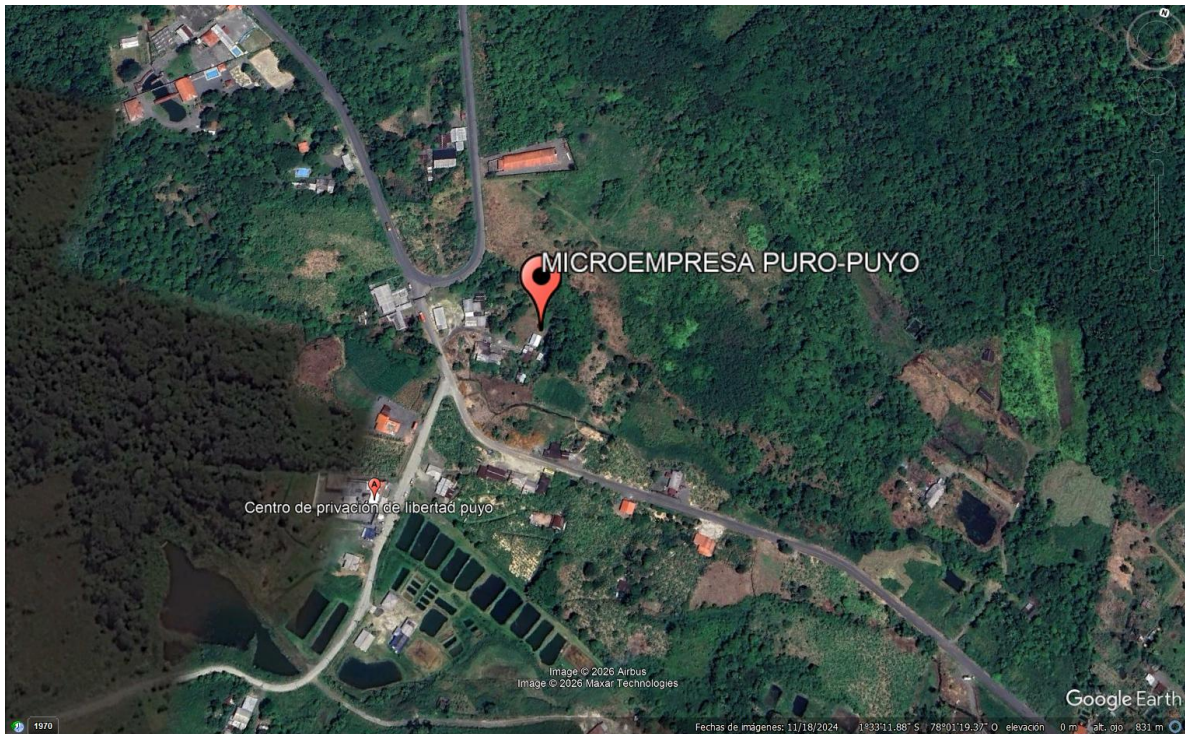
Contexto de aplicación

La microempresa Puro-Puyo se ubica en la provincia de Pastaza, parroquia Puyo, en los alrededores de la comunidad de Putuimi, con coordenadas de latitud $-1,55366^{\circ}$ ($1^{\circ} 33' 13''$ S) y longitud $-78,0223^{\circ}$ ($78^{\circ} 1' 20''$ O), tal como se ilustra en la Figura 1. Esta zona se caracteriza por un entorno predominantemente rural cuyas actividades económicas se sustentan históricamente en la agricultura de subsistencia, la caza y la pesca. La

microempresa opera en el sector de licores artesanales, constituyendo un caso representativo de microemprendimiento local con potencial de mejora en su gestión ambiental.

Figura 1

Mapa satelital de la ubicación de la microempresa Puro-Puyo



Nota: Tomado de Google Earth (2026).

Diseño metodológico

El presente estudio adoptó un enfoque basado en los principios de Producción Más Limpia (PML), definida por el PNUMA como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente (Organización de Las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONU DI], 2024). La metodología siguió una secuencia lógica de diagnóstico, cuantificación, priorización y evaluación de alternativas, conforme a los lineamientos de la ONU DI.



Técnicas e instrumentos aplicados

- **Diagnóstico del proceso productivo**

Se realizó un diagrama de flujo del proceso de elaboración de licor artesanal para identificar y describir, de manera ordenada, las etapas, actividades, recursos empleados y responsables involucrados. Esta herramienta permitió visualizar la secuencia operativa del sistema y detectar puntos de interés para el análisis de eficiencia.

Complementariamente, se aplicó un ecomapa para representar espacialmente las fuentes de consumo de recursos y generación de residuos al interior de las instalaciones. Los ecomapas permiten analizar, gestionar y comunicar sobre la gestión de recursos, agua, energía, materiales y suministros, así como la gestión de residuos, emisiones, vertidos y riesgos en una actividad productiva o funcional, en materia medioambiental (Severiche-Sierra & Ahumada-Villafañe, 2021). El ecomapeo es un proceso paso a paso para recopilar información útil y desencadenar acciones ambientales inmediatas, verificando procesos y comportamientos de los colaboradores e induciendo mejoras inmediatas. Los datos fueron levantados mediante observación directa en campo durante un período representativo de producción.

- **Balances de materia y energía**

Se elaboraron balances de materia y energía para cada etapa del proceso productivo con el objetivo de cuantificar las entradas (insumos, agua, energía) y salidas (productos, subproductos, residuos, emisiones). Esta herramienta es fundamental en la metodología de PML, pues el análisis involucra el cálculo de balances de masa



para identificar residuos sólidos y líquidos que pueden ser minimizados en el proceso (Neto et al., 2022). Los datos fueron obtenidos mediante medición directa en campo y revisión de registros operativos de la microempresa.

- **Identificación de puntos críticos y pérdidas**

A partir del análisis del diagrama de flujo, el ecomapa y los balances realizados, se identificaron los puntos críticos del proceso: aquellas etapas donde se concentran las mayores pérdidas de materia prima, agua o energía, o donde se genera el mayor impacto ambiental. Para priorizar las intervenciones se empleó una matriz de priorización que consideró criterios de magnitud del impacto, frecuencia de ocurrencia y viabilidad de mejora. La priorización de oportunidades preventivas facilita el proceso de mejora continua en las pequeñas empresas (Nunes et al., 2019).

- **Evaluación de opciones de Producción Más Limpia**

Se identificaron y evaluaron alternativas de PML clasificadas en tres niveles jerárquicos, conforme a la metodología del PNUMA/ONUDI:

- ✓ **Buenas prácticas operativas:** cambios en procedimientos, mantenimiento y gestión sin inversión tecnológica.
- ✓ **Sustitución de insumos:** reemplazo de materiales por opciones de menor impacto ambiental o mayor eficiencia.
- ✓ **Mejoras tecnológicas:** incorporación de equipos o procesos que incrementen la eficiencia en el uso de recursos.



Cada alternativa fue analizada mediante una evaluación de viabilidad técnica, económica y ambiental, utilizando indicadores cuantitativos (reducción estimada de residuos, ahorro energético, costo-beneficio) y cualitativos (facilidad de implementación, aceptación por parte del operador).

Consideraciones éticas

El desarrollo del presente estudio contó con la autorización expresa del propietario de la microempresa Puro-Puyo, quien consintió la realización de visitas técnicas a las instalaciones, la observación directa del proceso productivo y el levantamiento de información operativa y ambiental. La información recopilada fue utilizada exclusivamente con fines académicos e investigativos.

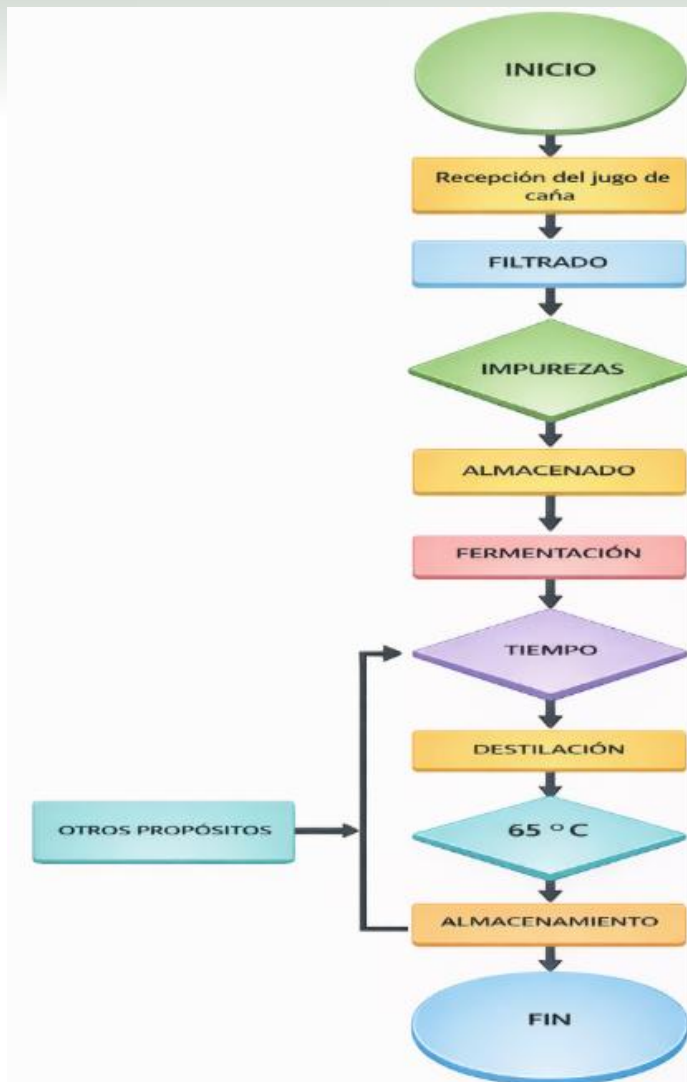
Resultados y aprendizajes

Diagrama de flujo

Mediante la visita técnica a las instalaciones de la microempresa Puro-Puyo, previa autorización del propietario, se identificaron seis etapas secuenciales en el proceso de elaboración de licor artesanal de caña, representadas en la Figura 2. El proceso artesanal de obtención de licor artesanal de caña utiliza un trapiche para la molienda, obteniéndose el jugo de caña que se almacena en recipientes para su posterior fermentación y destilación.

Figura 2

Diagrama de flujo



Nota. Elaboración propia de los autores

- **Recepción del jugo de caña:** El proceso inició con la recepción de la caña de azúcar como materia prima. Tras un lavado para eliminar impurezas superficiales, la caña fue introducida en un trapiche que, mediante la presión de dos rodillos, permitió la extracción del jugo. El líquido obtenido fue recolectado y almacenado para las etapas posteriores.
- **Filtrado:** El jugo de caña fue sometido a un colado para eliminar astillas, fibras y residuos sólidos provenientes de la caña, conservando sus condiciones naturales. En



caso de detectarse impurezas, el jugo retornaba a esta etapa hasta garantizar su limpieza.

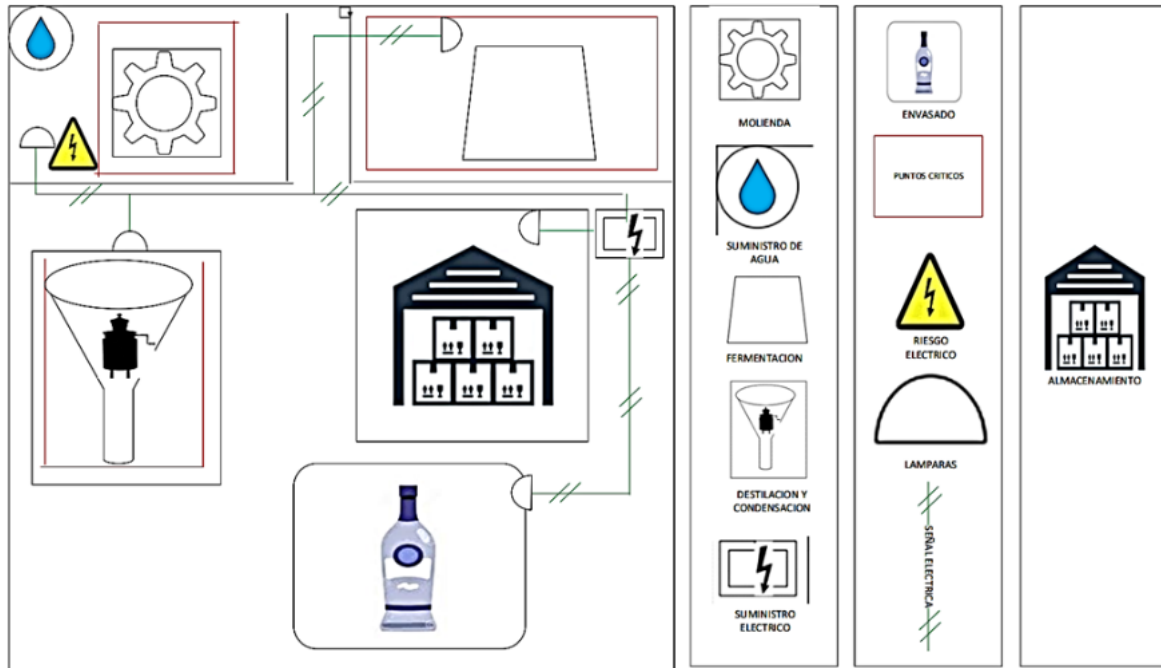
- **Almacenamiento del jugo:** El jugo filtrado fue almacenado en tanques fermentadores de acero inoxidable durante aproximadamente 24 horas, manteniéndose a una temperatura controlada de entre 20 y 25 °C, para prepararlo para la fermentación.
- **Fermentación:** El jugo permaneció en reposo entre dos y tres días, tiempo suficiente para alcanzar el grado de maduración necesario para la destilación.
- **Destilación:** Una vez alcanzada la maduración adecuada, el jugo fermentado fue calentado hasta la evaporación de sus componentes volátiles y su posterior condensación. La temperatura en la torre de destilación se mantiene alrededor de los 65 °C, etapa en la que se genera la mayor cantidad de vinazas, residuo líquido de alta carga orgánica que constituye el principal impacto ambiental del proceso.
- **Almacenamiento final:** El aguardiente obtenido fue recolectado y almacenado para su comercialización. El control de temperatura durante la destilación resultó esencial para garantizar la calidad del producto y evitar la formación de compuestos indeseables como el metanol.

Ecomapa

El ecomapa elaborado (Figura 3) permitió identificar y representar gráficamente, de forma espacial, las principales fuentes de consumo de recursos y generación de residuos dentro de las instalaciones. Se identificaron como zonas de mayor impacto ambiental: el área de molienda por su consumo de combustible diésel y generación de bagazo; el área de destilación por su elevado consumo energético y generación de vinazas; y las zonas de almacenamiento por la disposición inadecuada de residuos sólidos.

Figura 3

Ecomapa



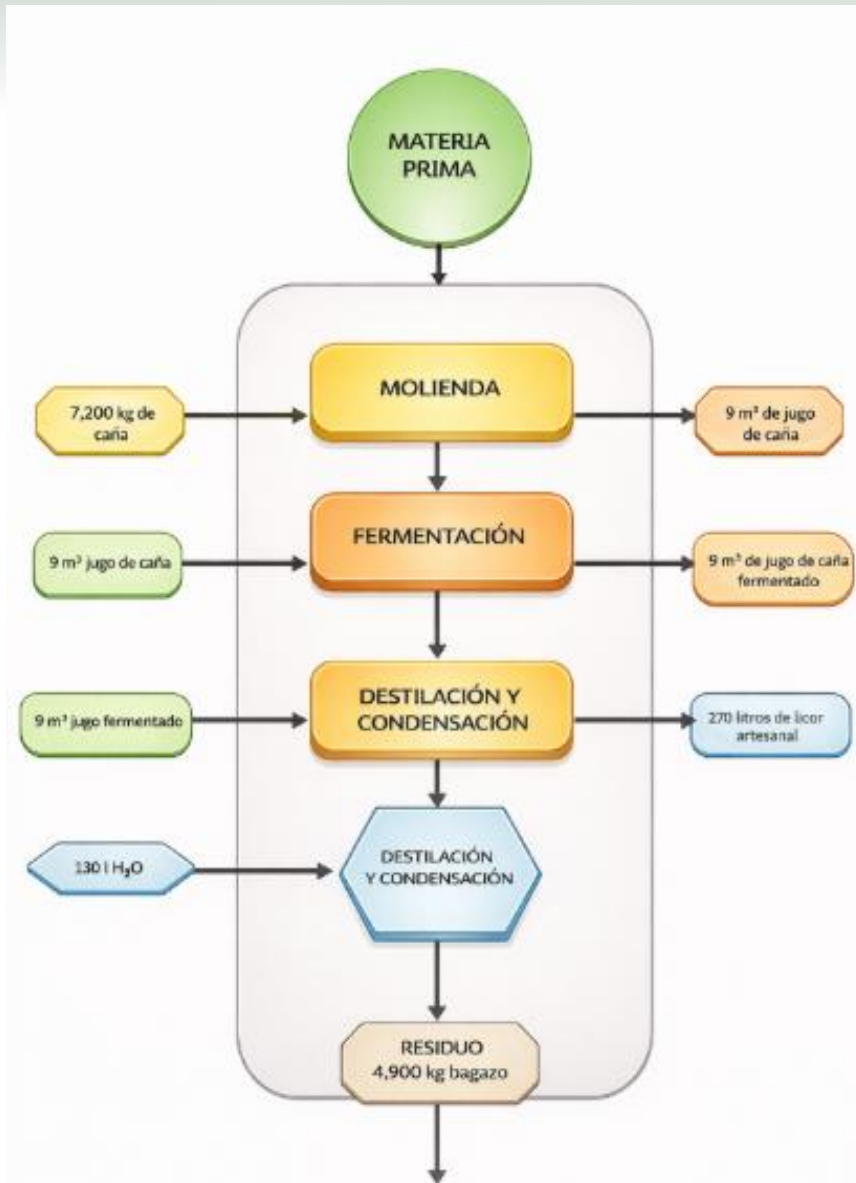
Nota. Elaboración propia de los autores

Balance de materia y energía

Se elaboró el balance de materia para cuantificar todas las entradas y salidas del sistema por jornada productiva, tomando como base 1,800 kg de caña de azúcar ingresada (9 m^3 a una densidad aparente de 200 kg/m^3), cuyos resultados globales se presentan en la Tabla 1 y se representan esquemáticamente en la Figura 4.

Figura 4

Balance de materia



Nota. Elaboración propia de los autores

Para el balance de energía se cuantificó el consumo energético por etapa del proceso, partiendo del dato declarado de 30.49 kWh/día de consumo total medido, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Distribución del consumo energético por etapa



Etapa	Equipo/fuente	Consumo estimado	% del total
Molienda	Motor trapiche (diésel: 20 L × 10,7 kWh/L equiv.)	214 kWh equiv.	—
Destilación	Resistencia/quemador caldera	18.30 kWh eléc.	60.00%
Enfriamiento	Bomba de agua + condensador	6.10 kWh	20.00%
Iluminación	Luminarias convencionales	3.05 kWh	10.00%
Otros (bombas, filtros)	Equipos auxiliares	3.04 kWh	10.00%
Total, eléctrico medido		30.49 kWh/día	100%

Nota. Elaboración propia de los autores.

Adicionalmente, el trapiche consume 20 L de diésel/día, equivalentes a aproximadamente 214 kWh de energía primaria (PCI diésel \approx 10.70 kWh/L), con una eficiencia mecánica estimada del 30%, resultando en aproximadamente 64 kWh de trabajo útil. Los indicadores de intensidad energética del proceso se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2

Indicadores de intensidad energética del proceso

Indicador	Valor
Consumo eléctrico por litro de producto	0.113 kWh/L
Consumo total (eléctrico + diésel) por litro	0.906 kWh/L
Consumo eléctrico mensual (22 días hábiles)	670.78 kWh/mes
Costo energético mensual (\$0,13/kWh)	\$87.20/mes

Nota. Elaboración propia de los autores.



Respecto al balance térmico de la destilación, para elevar 950 L de mosto desde 20 °C hasta la temperatura de operación de 65 °C se requiere:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T = 950 \text{ kg} \times 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (65 - 20)^\circ\text{C} = 178,695 \text{ kJ}$$
$$= 49.60 \text{ kWh}$$

El sistema opera con una eficiencia térmica estimada del 37%, lo que implica que de los 49,6 kWh teóricos requeridos, el equipo consume aproximadamente 18.30 kWh eléctricos netos, valor coherente con los datos medidos y que evidencia una pérdida térmica del 63% susceptible de reducirse mediante mejoras en el aislamiento del sistema de destilación.

Balance de costos

Se elaboró el balance de costos considerando los cinco rubros directamente asociados a la producción por jornada, cuyos valores se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Balance de costos del proceso productivo

Rubro	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo Total U\$
Caña de azúcar	m3	9	25	225.00
Combustible diésel	L	20	1.30	26.00
Botellas de plástico 1L	Unidad	270	0.10	27.00
Consumo de energía	kwh/día	30.49	0.13	3.96
Mano de obra	Salario/semana	3	110.19	330.57
Total				612.53



Nota. Elaboración propia de los autores.

El costo total por jornada productiva asciende a \$612.53 USD. La mano de obra representa el rubro de mayor incidencia con el 53.97% del costo total (\$330.57), seguida por la materia prima con el 36.73% (\$225.00). El combustible diésel, los envases plásticos y el consumo eléctrico representan en conjunto el 9.46% restante, siendo este último el de menor peso económico directo (\$3.96/día), aunque su impacto ambiental resulta significativo en términos de emisiones asociadas al proceso.

Identificación y priorización de puntos críticos

A partir del diagrama de flujo, el ecomapa y los balances de materia y energía, se identificaron tres puntos críticos del proceso, cuantificados en la Tabla 4.

Tabla 4

Puntos críticos identificados en el proceso productivo

Punto crítico	Principal problema	Dato cuantitativo clave
Destilación	Generación de vinazas y alto consumo energético e hídrico	620 L vinazas/día (DQO ~80.000 mg/L); 18,30 kWh/día (60% del total); 845 L agua/día
Molienda	Consumo de diésel, bagazo sin valorizar y bajo rendimiento de extracción	20 L diésel/día (53.6 kg CO ₂ /día); 720 kg bagazo/día; rendimiento 55% vs. 60–65% referencial
Envasado	Generación de residuos plásticos sin gestión	270 botellas PET/día ≈ 8.1 kg plástico/día

Nota. Elaboración propia de los autores.



Para priorizar las intervenciones se aplicó una matriz de criticidad con cuatro criterios ponderados, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de priorización de puntos críticos

Criterio	Peso	Destilación	Molienda	Envasado
Magnitud del impacto ambiental	30%	5	4	2
Consumo de recursos	25%	5	4	1
Frecuencia de ocurrencia	25%	5	5	5
Viabilidad de mejora	20%	4	5	4
Puntaje ponderado		4.75	4.45	3.00
Prioridad		1°	2°	3°

Nota. Elaboración propia de los autores.

La destilación y la molienda fueron priorizadas para la aplicación inmediata de medidas de PML, dado que concentran conjuntamente el 95% de las pérdidas económicas y ambientales cuantificadas (~\$23,700/año entre insumos desaprovechados, energía ineficiente y residuos sin valorizar). El envasado, si bien genera impacto acumulado relevante, puede abordarse en una segunda fase dada su menor criticidad relativa.

Propuesta de Producción Más Limpia

A partir de los puntos críticos priorizados, se evaluaron alternativas de PML en tres niveles jerárquicos conforme a la metodología del PNUMA/ONUDI.

- **Buenas prácticas operativas**



En destilación, se propone el control estricto de temperatura (65–78 °C) mediante termómetros de lectura directa, lo que mejoraría el rendimiento alcohólico en un 3–5%, representando un ingreso adicional estimado de \$1,267–\$3,010/año. En iluminación, la sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED reduciría el consumo en esta línea un 60%, con un ahorro de \$62.83/año y recuperación de la inversión (\$80 USD) en menos de un año.

- **Sustitución de insumos**

Se propone el uso de boquillas de alta presión y bajo caudal en el lavado de caña, reduciendo el consumo de agua en molienda entre un 40–60% (de 120 L/día a 48–72 L/día) y disminuyendo la carga orgánica descargada al sistema de drenaje.

- **Mejoras tecnológicas**

Se proponen tres intervenciones de mayor alcance, evaluadas en la Tabla 6.

Tabla 6

Evaluación técnico-económica de mejoras tecnológicas propuestas

Alternativa	Inversión (USD)	Beneficio principal	Beneficio anual (USD)	PRI
Biodigestor anaerobio para vinazas	\$800	Sustitución 60% diésel; eliminación de vinazas	\$4.118	< 3 meses
Compostaje de bagazo	\$300	240 kg compost/día comercializable	\$9,504	< 12 días



Circuito cerrado de enfriamiento	\$1,200	Reducción hídrica 90-95% (845 → 45 L/día)	\$158.89	~7,5 años
Paquete completo	PML \$2,300	Eliminación de principales pasivos ambientales	~\$13,781	~2 meses

Nota. Elaboración propia de los autores. *PRI = Período de Recuperación de la Inversión. El PRI del paquete completo refleja el retorno integrado, liderado por el biodigestor y el compostaje.*

Las tres alternativas tecnológicas propuestas presentan niveles de rentabilidad distintos. El compostaje de bagazo resulta la opción más atractiva económicamente, con una inversión mínima de \$300 y un retorno en menos de 12 días gracias a la comercialización de 240 kg de compost diarios. El biodigestor anaerobio, con una inversión de \$800, permite sustituir el 60% del diésel consumido y eliminar las vinazas, recuperando la inversión en menos de tres meses. El circuito cerrado de enfriamiento, aunque reduce el consumo hídrico entre un 90 y 95%, presenta el período de recuperación más largo (~7.5 años) debido a su bajo beneficio económico directo, siendo su mayor aporte de naturaleza ambiental. En conjunto, la implementación del paquete PML completo requiere una inversión total de \$2,300 y genera un beneficio anual estimado de \$13,781, recuperable en aproximadamente dos meses, dado que el biodigestor y el compostaje lideran el retorno económico del paquete integrado.

Discusión



Los resultados obtenidos evidencian que el proceso de producción de licor artesanal en la microempresa analizada presenta ineficiencias significativas en el uso de recursos, especialmente en las etapas de destilación y molienda, lo cual coincide con lo reportado en estudios recientes sobre microindustrias agroalimentarias en contextos rurales (Kumar et al., 2021). En particular, el elevado consumo energético y la generación de vinazas con alta carga orgánica confirman que la destilación constituye el principal punto crítico ambiental, situación similar a la identificada en estudios sobre efluentes agroindustriales, donde este residuo representa un desafío importante debido a su potencial contaminante (Santos et al., 2019).

Comparativamente, investigaciones recientes han demostrado que la implementación de estrategias de Producción Más Limpia puede reducir significativamente el consumo de recursos y la generación de residuos en pequeñas agroindustrias (Bernal & Vanotti, 2023; Hadi, 2024). En este estudio, las propuestas planteadas, como el uso de biodigestores y sistemas de recirculación de agua, muestran resultados potenciales consistentes con dichos enfoques, lo que valida su aplicabilidad técnica y ambiental.

En relación con el consumo energético, el uso de diésel en la molienda representa una fuente importante de emisiones de CO₂, lo cual coincide con estudios que evidencian la dependencia de combustibles fósiles en sistemas productivos rurales. En contraste, investigaciones recientes destacan que la sustitución parcial de estos combustibles por biogás generado a partir de residuos orgánicos puede reducir significativamente la huella de carbono (Rojas-Flores et al., 2024; Chávez-González et al., 2025).

Por otro lado, el desaprovechamiento del bagazo identificado en este estudio refleja una pérdida de valor económico y energético. Este hallazgo coincide con investigaciones que señalan que los residuos agrícolas pueden ser utilizados como fuente de energía o materia prima para compostaje, contribuyendo a la economía circular (Zhang, 2024; Wahyudin & Oge, 2025).



En cuanto al consumo hídrico, la elevada demanda de agua en la etapa de enfriamiento evidencia una gestión ineficiente del recurso. Investigaciones recientes sugieren que la implementación de sistemas cerrados puede reducir significativamente el consumo de agua en procesos productivos (Yuan et al., 2025).

En términos generales, los resultados confirman que la aplicación de estrategias de Producción Más Limpia no solo permite reducir impactos ambientales, sino también mejorar la eficiencia económica del proceso, tal como lo evidencian múltiples investigaciones en el ámbito de pequeñas industrias (Caiza López et al., 2025; Hadi, 2024). En este sentido, el beneficio económico estimado y el corto periodo de recuperación de la inversión demuestran que la sostenibilidad ambiental puede integrarse de manera efectiva con la rentabilidad productiva.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que la producción artesanal de aguardiente en la microempresa Puro-Puyo presenta ineficiencias estructurales significativas en el uso de recursos, particularmente en las etapas de destilación y molienda, donde se concentran los mayores consumos de energía, agua y generación de residuos. La identificación de estos puntos críticos, sustentada en balances de materia y energía, permitió evidenciar que el proceso actual no solo genera impactos ambientales relevantes como la descarga de vinazas con alta carga orgánica y emisiones asociadas al uso de diésel, sino también pérdidas económicas evitables.

La aplicación del enfoque de Producción Más Limpia (PML) resultó ser una herramienta eficaz para diagnosticar, priorizar e intervenir sobre dichas ineficiencias, permitiendo la formulación de estrategias técnica y económicamente viables. Las alternativas



propuestas, particularmente el biodigestor anaerobio, el compostaje del bagazo y el sistema cerrado de enfriamiento, evidencian un alto potencial de reducción de impactos ambientales, destacando la eliminación de vertidos contaminantes, la disminución del consumo de combustibles fósiles y la optimización del uso del recurso hídrico.

Desde una perspectiva económica, los resultados confirman que la sostenibilidad ambiental puede integrarse de manera directa con la rentabilidad del microemprendimiento. El beneficio económico estimado y el corto período de recuperación de la inversión demuestran que las estrategias de PML no representan un costo adicional, sino una oportunidad de mejora productiva y competitiva.

También el estudio valida que la incorporación de innovación sostenible en contextos amazónicos no requiere la sustitución de saberes tradicionales, sino su fortalecimiento mediante soluciones tecnológicas apropiadas y adaptadas al entorno local. Este enfoque permite mantener la identidad cultural del proceso productivo, al tiempo que se mejora su desempeño ambiental y eficiencia operativa.

Finalmente, se concluye que la implementación de modelos de Producción Más Limpia en microindustrias artesanales constituye una estrategia clave para promover el desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana. Su aplicación no solo contribuye a la conservación de ecosistemas altamente sensibles, sino que también fortalece la resiliencia económica de los emprendimientos locales, alineándose con los principios de economía circular y sostenibilidad territorial.

Agradecimientos

Al propietario de la microempresa Puro-Puyo.



Declaraciones

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés. Además, el trabajo no recibió financiamiento externo. El uso de inteligencia artificial se limitó exclusivamente a fines de apoyo en la redacción, garantizando en todo momento la originalidad de los autores

Referencias

- Aguiar, S., Panimboza-Ojeda, A. P., Soto-Cabrera, A. I., Cuyanquillo-Barrionuevo, J. X., Pérez-Martínez, A., & Diéguez-Santana, K. (2021). *Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1500>
- Alvarado Ludeña, G. R. (2021). *Obtención de bioetanol a partir del bagazo de caña* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21229/1/UPS-CT009334.pdf>
- Bernal, M. P., & Vanotti, M. B. (2023). Insights in waste management in agroecosystems: 2021. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1176007>
- Caiza López, D. L., Jacome Viera, M. F., Macías Fariás, E. F., & González Caiza, D. A. (2025). Economía circular: estrategias sostenibles para la gestión de residuos y la conservación de la biodiversidad en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(17), 183-198. <https://doi.org/10.56519/3rms0982>
- Carvajal-Padilla, V. P., Ambukudi, R., Chele, E., Pereira, L., & Dieguez-Santana, K. (2021). Alternativas de producción más limpias para la destilería "Puro Puyo", Pastaza, Ecuador. *Revista de I+D Tecnológico*, 17(1), 5–13. <https://portal.amelica.org/amelijournal/339/3392002002/html/>
- Chávez-González, M. L., Aguilar-Zárate, P., & Hagi, A. K. (2025). *Energy recovery from agro-food waste: New technologies for sustainable development*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-89099-4>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza [GADPZ]. (2017). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza 2017*. https://www.pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_provincial_actualizacion_2017.pdf
- Google Earth. (2026). *Imagen satelital: Microempresa Puro-Puyo, Pastaza, Ecuador* [Software de mapas]. Google. <https://earth.google.com>
- Hadi, G. A. (2024). The implementation of cleaner production throughout various industries. *Journal Of Waste And Sustainable Consumption.*, 1(2), 64-76. <https://doi.org/10.61511/jwsc.v1i2.2024.1246>
- Ilibay-Granda, C. G., González-Morales, B. D., Muñoz-Ganan, R. D., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2021). Estrategia de producción más limpia para la destilería de alcohol artesanal "San Vicente", Pastaza, Ecuador. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 19(1), 24–30. <https://doi.org/10.24054/bistua.v19i1.932>



- Instituto de Investigación Sinchi. (2023). Emprendimientos sostenibles en la Amazonía colombiana. <https://ierna.sinchi.org.co/informe/9-emprendimientos-sostenibles-en-la-amazonia-colombiana/>
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2021). Cleaner production strategies and their role in sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 295, 125576. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125576>
- Neto, G. C. de O., Leite, R. R., Lucato, W. C., Vanalle, R. M., Amorim, M., Matias, J. C. O., & Kumar, V. (2022). Overcoming barriers to the implementation of cleaner production in small enterprises in the mechanics industry: Exploring economic gains and contributions for sustainable development goals. *Sustainability*, 14(5), 2944. <https://doi.org/10.3390/su14052944>
- Nunes, J. R. R., da Silva, J. E. A. R., da Silva Moris, V. A., & Giannetti, B. F. (2019). Cleaner production in small companies: Proposal of a management methodology. *Journal of Cleaner Production*, 218, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.219>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - ONUDI. (2024). *Guía Metodológica de Producción más limpia para mipymes*. https://issuu.com/unionindustrialparaguay/docs/gu_a_metodol_gica_pml_9dic24
- ProAmazonía. (2021). *Cinco comunidades amazónicas culminan la metodología iniciando con su negocio*. <https://www.proamazonia.org/cinco-comunidades-amazonicas-culminan-la-metodologia-iniciando-con-su-negocio/>
- Quishpe-López, J. D., Lliguicota-Guarquila, J. P., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). La producción más limpia como estrategia de valorización (ecoeficiencia) del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Revista Científica de la FACENA*, 16(3), 59–74. https://scielo.iics.una.py/scielo.php?pid=S2409-87522020000300059&script=sci_arttext
- Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., Cabanillas-Chirinos, N., Castillo-Jacinto, F., & Delfín-Narcizo, R. (2024). Use of agricultural waste in the generation of electrical energy: A bibliometric analysis. *Processes*, 12(6), 1178. <https://doi.org/10.3390/pr12061178>
- Santos, F., Mario, D. M., Rabelo, S. C., & Eichler, P. (2019). Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives. En *Elsevier eBooks*. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-00884-4>
- Severiche-Sierra, C., & Ahumada-Villafañe, I. (2021). Ecomapa o ecomapeo en el sector productivo: Herramienta práctica para el diagnóstico de la situación ambiental. *IPSA Scientia, Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2), 52–62. <https://doi.org/10.25214/27114406.1139>
- Wahyudin, C. I., & Oge, L. (2025). Utilization of oil palm waste as a renewable energy source: A review. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 1(2). <https://doi.org/10.64690/agrones.v1i2.280>
- Yuan, H., Huang, P., Yu, J., Zeng, Y., Liao, Q., Xia, A., & Zhu, X. (2025). Efficient wastewater treatment and biomass co-production using microalgae. *RSC Advances*, 15, 14030–14041. <https://doi.org/10.1039/D5RA00281H>
- Zhang, Z. (2024). Sustainable utilization of agricultural waste and biomass for energy production. *Applied and Environmental Materials Proceedings*. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2024.17768>