



Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales

Proposal for cleaner production in artisanal distilleries

Santiago Aguiar¹; Alexandra Paola Panimboza-Ojeda²; Angy Isabel Soto-Cabrera³; Jonathan Xavier Cuyanquillo-Barrionuevo⁴; Amaury Pérez-Martínez⁵; Karel Diéguez-Santana⁶

¹Ing. Agroindustrial. M.Sc. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: saguiar@uea.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-1971-7330>

²Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: alexapani16@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3974-3453>

³Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: angy_soto13@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2400-7739>

⁴Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: jhony09986@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7033-8512>

⁵Ing. Químico, Ph.D. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: amperez@uea.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

⁶Ing. Químico, M.Sc. Ph.D.(c). Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: karel.dieguez.santana@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4064-0566>

Cómo citar: 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. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1500. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1500>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 11 de 2020

Aceptado: noviembre 19 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es el cultivo con mayor expansión en la provincia Pastaza, Amazonía, Ecuador. Los principales usos incluyen elaboración de panela y alcohol. En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia existen 78 fábricas de panela y 23 destilerías de alcohol artesanal, en los alrededores del cantón Pastaza (PDyOT, 2017).

Las etapas del proceso productivo de alcohol artesanal incluyen destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas, que generan impactos ambientales (García-Prado *et al.* 2015). El bagazo y la vinaza son los principales residuos; la vinaza genera la mayor afectación sobre el medio ambiente, pues posee una alta carga orgánica, con valores de Demanda Química de Oxígeno - DQO de hasta 100.000 mgL⁻¹ (Chanfón-Curbelo & Lorenzo-Acosta, 2014).

La producción más limpia-PML es una estrategia clave empleada en los últimos 25 años, para prevenir daños medioambientales y crear beneficios económicos y sociales. Además, su aplicación permite reducir el consumo de materias primas, agua y energía y, a la vez, optimizar la producción. Según Marques Matos *et al.* (2018), incluye el diseño y la evaluación de productos, procesos y servicios, incorporando todos los aspectos del desarrollo sostenible y de la sostenibilidad industrial.

En los últimos años, las PML se han promovido en Ecuador, a través del Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia - CEER. Diversos sectores productivos reportan casos de estudios, por ejemplo, en la producción de pasta de cacao (Diéguez-Santana *et al.* 2021), granjas de crías porcinas (Cárdenas Giler *et al.* 2019) o pequeñas manufacturas del sector textil (Guallo Aguinda *et al.* 2020); sin embargo, la producción

de alcohol artesanal no ha sido analizada. Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar estrategias de PML, que puedan mejorar el comportamiento ambiental de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El presente estudio, se llevó a cabo en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, ubicada en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, en la parroquia Teniente Hugo Ortiz, dentro de la comunidad “Mariscal Sucre”.

Criterios metodológicos del análisis de PML. Se consideraron las directrices del Programa de Producción más Limpia, diseñado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial-ONU, la guía de PML de Ecuador (CEER, 2019) y otros estudios de caso en Ecuador (Cárdenas Giler *et al.* 2019; Guallo Aguinda *et al.* 2020; Ramos-Ramos *et al.* 2020); el estudio, se dividió en 5 etapas.

Etapas I. Organización y definición de objetivos y metas de PML dentro de la política ambiental de la empresa. En esta parte inicial, se realizó un acercamiento con el sector de la empresa, se organizó el equipo y se identificaron los principales obstáculos y barreras. Se definieron conceptos sobre las PML, las buenas prácticas en los sistemas de producción y la legislación ambiental aplicable, para el tipo de actividad económica en análisis (Cárdenas Giler *et al.* 2019).

Etapas II. Diagnóstico técnico, económico y ambiental preliminar de la empresa o proceso. En esta sección del procedimiento, se efectuó la revisión ambiental inicial, se recopiló información sobre estadísticas de producción, cantidades y costos de materias primas e información ambiental, sobre aquellos procesos que generen impactos negativos al medio ambiente. La obtención de estos elementos, se llevó a cabo mediante entrevistas, cuestionarios a los propietarios y trabajadores y revisión de registros históricos de la actividad.

Etapas III. Evaluación técnico, económico y ambiental. En esta etapa, se elaboraron los balances de materiales y energía para las operaciones unitarias críticas. Se cuantificaron los insumos y energía consumidos, las corrientes de residuos, efluentes, emisiones, productos y subproductos generados. Se identificaron las causas de las ineficiencias y se seleccionaron las oportunidades a ser evaluadas (CEER, 2019).

Etapas IV. Formulación de alternativas de PML. A partir de las deficiencias identificadas y las opciones tentativas de PML, se evaluó el potencial de implementación. Además, se realizó la selección de las opciones de mejora a implementar y se evaluó la variación de los indicadores del proceso (productivo, técnico y ambiental).

Etapas V. Implementación, monitoreo y control. Esta sección implica los requerimientos para implementación de las opciones de PML definidas. En el caso del monitoreo y control, incluyó un análisis del cumplimiento de los indicadores del proceso, con las opciones a implementar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del proceso. La destilería artesanal “Rivera Revilla Fray Ángel” produce mensualmente 1.532 L de aguardiente (60° alcohol). Cuenta con tres operarios y su producción adopta 4 operaciones unitarias, que se muestran en la figura 1.

Molienda. Semanalmente, se muelen entre 9 a 10 m³ de caña de azúcar, de las variedades limeña y morada. Se utiliza un molino de marca “Chanfa”, de una potencia de 16,18 KW y 2.200 rpm, el cual, consume 20 L de combustible diésel y se extraen 4.500 L de jugo de caña.

Fermentación. El jugo de caña resultante, se fermenta sin la adición de levaduras, ni nutrientes, durante 2 a 4 días, en 4 tanques de plástico, de un volumen de 1.200 L, cada uno. Se recirculan 1.052 L de mosto, que es empleado como agente de fermentación y permite la proliferación de levaduras.

Destilación. 3.448 L de líquido fermentado, se acondicionan en un intercambiador de calor. Posteriormente, se introducen en la torre de destilación, que cuenta con 14 platos y alcanza una temperatura aproximada de 78 °C. El calor, se genera a partir de madera como combustible, con un consumo de 4,5 m³, por día. Finalmente, se obtienen, semanalmente, 383 L de etanol, a 60°.

Empaquetado. El producto registrado legalmente como “Suspiro de Ángel”, se envasa en botellas de 250 mL, 400 mL, 500 mL, 1 L y 20 L.

Diagnóstico de PML

Revisión Ambiental Inicial: En el cultivo, se emplean 50 a 100 kg de fertilizantes compuesto 10-30-10 por hectárea, que se agrega antes de la siembra o cada 6 meses. Por su parte, para el control de malezas antes de la siembra, se utilizan herbicidas paraquat o glifosato, a razón de 2 L/ha. Finalizado el ciclo del cultivo, se realiza diariamente el corte manual.

Ecobalance: La tabla 1 muestra las materias primas, insumos, energéticos, depreciación de activos, mano de obra y otros gastos necesarios, para un ciclo productivo semanal. Los materiales utilizados en el proceso de producción incluyen caña de azúcar, botellas de plástico, madera, electricidad y agua. Por su parte, las salidas del sistema de producción, se centran en residuos de plástico, como envases y botellas defectuosas, bagazo, vinazas, cenizas, dióxido de carbono CO₂, calor y el producto final, que es el etanol. Es importante destacar que el bagazo y las vinazas representan grandes cantidades de residuos en comparación con la producción de etanol; por ejemplo, por cada L de etanol, se generan 8 L de vinazas. Estas vinazas, se vierten directamente a suelos y cuerpos de agua cercanos, lo que aumenta el potencial de acidificación y eutrofización (Soto-Cabrera *et al.* 2020).

Evaluación técnico, económico y ambiental de la empresa: En la figura 1, se pueden observar las operaciones del proceso de

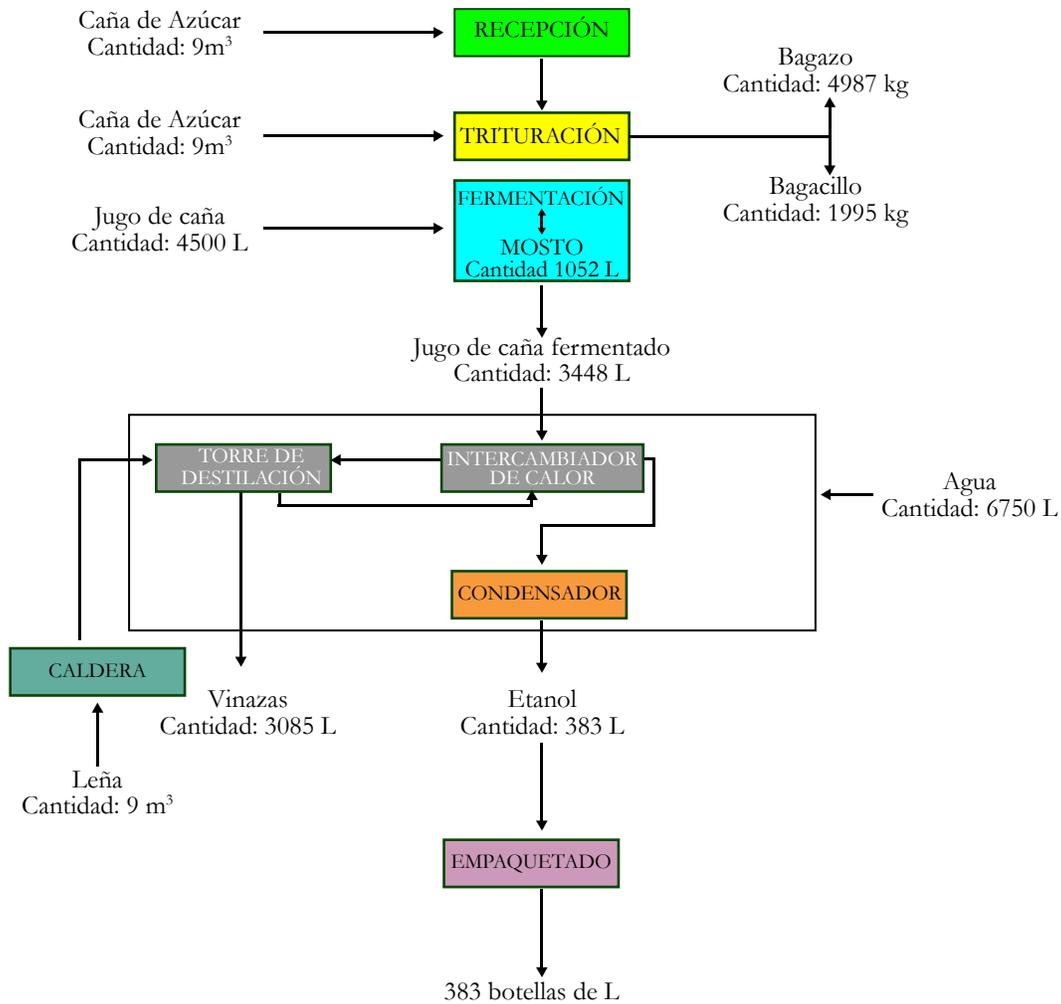


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso productivo de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, para 383 botellas de 1 L.

Tabla 1. Balance de materias primas, insumos, consumos energéticos, gastos semanales del proceso de alcohol en la destilería artesanal.

Rubro	Unidad medida	Cantidad	Costo unitario, US\$	Costo Total, US\$
Caña de azúcar	m ³	9	25	225
Combustible (diésel)	L	20	1,3	26
Combustible (madera)	m ³	4,5	13,33	59,99
Botellas de plástico 1 L	Unidad	383	0,1	38,3
Consumo energía eléctrica	kwh/día	32,49	0,2	6,498
Subtotal materia prima e insumos	U			355,79
Mano de obra (con seguros)	Salario/semana	3	119,31	357,94
Servicios y otros gastos	semana	1	11,83	1,83
Depreciación de activos fijos	U	1	14,11	14,11
Total				739,66

obtención de etanol en la destilería. Entre los consumos, sobresalen la madera que ingresa a la caldera para la generación de vapor en la torre de destilación y las cantidades de vinazas que se generan por

cada ciclo productivo, 3.085 L. Adicionalmente, se consumen 6.750 L de agua, para el sistema de generación de vapor y condensación. En la molienda, por cada 9 m³ de caña, se obtienen 4.500 L de jugo,

con 4.987 kg de bagazo y, de ellos, 1.995 kg de bagacillo. Los 383 L de aguardiente, se vende a US\$2,5 y generan ingresos de US\$957,5, por lo que la relación Costo/Beneficio es de 1,29.

Formulación de alternativas de PML: Las alternativas de PML fueron seleccionadas y evaluadas, de acuerdo con las características de la destilería. Por la pequeña dimensión de la instalación, no se consideró la implementación de equipos o procesos con altos costos. Las tres opciones para evaluar fueron: compostaje del bagazo de caña, producción de biogás, a partir de vinazas y ensilaje, a partir del bagacillo y cogollo de caña.

Evaluación de las opciones de PML

La primera opción, procesar todo el bagazo para la realización de compost, se requieren 227 m² para área de compostaje y un área de 54 m² de hormigón, para almacenar 5.000 kg de bagazo triturado y cachaza del proceso; las pilas se cubrirán con plástico negro, para evitar la proliferación de vectores y los malos olores. Esta opción generaría un ingreso económico adicional para la destilería, de US\$1.750, por cada 5.000 kg de abono orgánico. En el contexto ambiental, la elaboración de compost lograría reducir la tasa generación de los residuos, como bagazo resultante del proceso de molido.

La opción 2, de producir biogás a partir de las vinazas descargadas (se generan 1.028,33 L de vinazas diarios), con un tiempo de retención de 30 días; el volumen del líquido será de 30.850 L y el volumen total será de 41.133,3 L. Se propone emplear tres biodigestores, de 13,71 m³ de capacidad cada uno.

Finalmente, para la estimación de la cantidad de biogás, se emplearon los criterios de Parsaee et al. (2019), donde el potencial de metano producido (PBM) por unidad de vinaza generada fue de 12.615 m³ de CH₄/m³ de vinazas, por lo que se generaría un promedio de 12.972,38 L/día de CH₄. El biogás generado sería utilizado como combustible para el proceso de destilación de alcohol y puede reemplazar el uso de leña, lo que genera un ahorro de US\$60 semanales. A la vez, podría reducir la DQO y DBO, en un 67 y 90 %, respectivamente (Parsaee et al. 2019) y, de esta forma, el agua residual drenada de la destilería, ya sea al suelo o al cuerpo de agua receptor, podrá llegar a cumplir con los límites máximos permisibles, establecidos en la normativa ambiental vigente.

Por último, en la opción 3, producción de ensilaje a partir del bagacillo y cogollo de la caña de azúcar, 2.000 kg de bagacillo se mezclan con 20 kg de cogollo picado de la caña y son suplementados con nutrientes. Según Roa Espínola & Renaut Aquino (2013), los aditivos son urea + sulfato de amonio en proporción al 1 % y una adición *Lactobacillus*, a razón de 0,2 g por cada 100 kg de residuos de caña. El precio del ensilaje podría variar, de acuerdo con la necesidad dentro del mercado ganadero, de US\$ 8 a 15 / 47 kg, por lo que generaría ingresos económicos. Además, se evita la liberación de bagacillo que, al ser desechado al ambiente, altera la calidad del aire y, de igual forma, emite gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático global.

En resumen, las tres opciones PML agrupadas permiten alcanzar una relación beneficio/costo de 3,12, lo cual, es 2,4 veces la relación a la destilería sin las opciones PML; por ende, mayores beneficios económicos, dados por el ahorro de madera, de la venta de abono y del ensilaje de bagacillo. Además, la comparación de los indicadores ambientales del funcionamiento del proceso sin las opciones PML y con la implementación muestra, por ejemplo, que las vinazas generadas disminuyen desde 8,05 hasta 0 L/L, de alcohol producido.

Similarmente, ocurre con la madera consumida, que se ve reducida desde 0,11 hasta 0 m³/L, de alcohol producido. Mientras que productos beneficiosos, como el biogás y compost producidos, se pueden presentar con la implementación de las PML, hasta 12,61 L de biogás y 13,05 kg de compost de bagazo, por cada L de alcohol elaborado, respectivamente. Esto denota que todos los indicadores medioambientales con las PML son positivos.

Del presente estudio, se puede concluir que los principales problemas detectados en la destilería "Rivera Revilla Fray Ángel" son la generación de residuos sólidos y líquidos, correspondiendo a bagazo, bagacillo y vinazas. La relación beneficio/coste con las opciones PML es de 3,12 frente a 1,29 sin ellas, lo que indica los beneficios económicos de incorporarlas al proceso. Además, todos los indicadores medioambientales son positivos en comparación con el proceso sin opciones de PML, por lo que las alternativas seleccionadas pueden conducir a la gestión de buenas prácticas ambientales y al cumplimiento de la legislación medioambiental nacional.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. CÁRDENAS GILER, E.V.; MALDONADO ERAZO, J.M.; VALDEZ SILVA, R.A.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2019. La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana. *Anales Científicos*. 80(1):60. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i1.1288>
2. CENTRO ECUATORIANO DE EFICIENCIA DE RECURSOS, CEER. 2019. Guía de producción más limpia: Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción Más Limpia CEER. Disponible desde Internet en: http://www.ceer.ec/new_descargasotrs.php (con acceso el 15/03/2020).
3. CHANFÓN-CURBELO, J.M.; LORENZO ACOSTA, Y. 2014. Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. *Revista Centro Azúcar*. 41(2):56-67.

4. DIÉGUEZ-SANTANA, K.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; CASAS-LEDÓN, Y.; ARTEAGA-PÉREZ, L.E. 2021. Cleaner production implementation in a cocoa processing plant in Ecuadorian Amazon. *J. Environmental Accounting and Management*. 9:173-188.
<https://doi.org/10.5890/JEAM.2021.06.006>
5. GARCÍA-PRADO, R.; PÉREZ-MARTÍNEZ, A.; DIÉGUEZ-SANTANA, K.; MESA-GARRIGA, L.; GONZÁLEZ-HERRERA, I.; GONZÁLEZ-CORTÉS, M.; GONZÁLEZ-SUAREZ, E. 2015. Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol. *Rev. Facultad de Ingeniería*. 75:130-142.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.n75a13>
6. GUALLO AGUINDA, N.G.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; OROZCO CRESPO, E.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Las producciones más limpias en el sector textil manufacturero. Un caso de estudio en Tena, Napo, Ecuador. *Mikarimin. Rev. Científica Multidisciplinaria*. 6:201-218.
7. MARQUES MATOS, L.; ANHOLON, R.; DA SILVA, D.; COOPER ORDOÑEZ, R.E.; GONÇALVES QUELHAS, O.L.; LEAL FILHO, W.; DE SANTA-EULALIA, L.A. 2018. Implementation of cleaner production: A ten-year retrospective on benefits and difficulties found. *J. Cleaner Production*. 187:409-420.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.181>
8. PARSAAE, M.; KIANI DEH KIANI, M.; KARIMI, K. 2019. A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and Bioenergy*. 122:117-125.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>
9. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE PASTAZA, PDYOT. 2017. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza (PDyOT) al año 2025. Ajuste 2017, Administración 2014-2019. Puyo, Pastaza, Ecuador. Disponible desde Internet en: http://www.pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_provincial_actualizacion_2017.pdf (con acceso el 15/03/2020).
10. RAMOS-RAMOS, T.P.; GUEVARA-LLERENA, D.J.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesado del cacao: un caso de estudio en Ecuador. *Investigación & Desarrollo*. 20:135-146.
<https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-10i>
11. ROA ESPÍNOLA, C.; RENAUT AQUINO, J. 2013. Calidad del ensilado de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) influenciado por la utilización de aditivos para el control de etanol. *Investigación Agraria*. 9(2):65-71.
12. SOTO-CABRERA, A.I.; PANIMBOZA-OJEDA, A.P.; ILIBAY-GRANDA, C.G.; VALVERDE-LARA, C.R.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva*. 18:60-68.
<https://doi.org/10.15665/rp.v18i1.2101>