

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y ECOEFICIENCIA EN EL PROCESADO DEL CACAO: UN CASO DE ESTUDIO EN ECUADOR

CLEANER PRODUCTION AND ECO-EFFICIENCY IN COCOA PROCESSING: A CASE STUDY IN ECUADOR

Tannia Paulina Ramos-Ramos¹, Danny Javier Guevara-Llerena¹, Liliana Bárbara Sarduy-Pereira², Karel Diéguez-Santana¹

¹Carrera Ingeniería Ambiental, Facultad Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador

²Unidad Educativa Fiscomisional Cristóbal Colón, Cantón Mera, Pastaza, Ecuador

kdieguez@uea.edu.ec

(Recibido el 23 de mayo 2020, aceptado para publicación el 25 de junio 2020)

RESUMEN

El cacao, es uno de los sectores económicos en Ecuador. El presente estudio tiene como finalidad realizar el diagnóstico, proponer opciones de producción más limpia (PML) y evaluar indicadores de ecoeficiencia aplicables al proceso de elaboración de pasta de cacao. Se analizaron las etapas del proceso, desde el diagnóstico hasta la formulación y evaluación de alternativas de PML. Se propusieron opciones de mejora en el proceso relacionadas con el ahorro de electricidad, agua y gestión de residuos. El análisis de la viabilidad económica y ambiental muestra resultados favorables, la recuperación de la inversión en mayoría de las opciones es inmediata o inferior a un año y pueden contribuir a disminuir el consumo de electricidad, agua, y residuos sólidos generados en un 13.2%, 18% y 99.7% respectivamente. Finalmente, se recomienda validar estas propuestas, y realizar investigaciones futuras sobre otras corrientes residuales de la actividad que puedan minimizar la contaminación ambiental generada en el proceso de producción de cacao en pasta.

Palabras Clave: Opciones de Producción Más Limpia, Indicadores Ambientales, Gestión de Residuos, Consumo de Energía.

ABSTRACT

Cocoa is one of the main economic sectors in Ecuador. The purpose of this study was to carry out the diagnosis, propose cleaner production (CP) options, and evaluate eco-efficiency indicators applicable to the cocoa paste elaboration process. The stages of the process were analyzed, from diagnosis to formulation and evaluation of CP alternatives. Options for process improvement related to saving electricity, water, and waste management were proposed. The analysis of the economic and environmental viability shows favorable results, the investment recovery in most of the options is immediate or less than a year. In addition, CP options can contribute to decreasing the consumption of electricity, water, and solid waste generated by 13.2 %, 18%, and 99.7% respectively. Finally, it is recommended to validate these proposals and to carry out future research on other residual currents of the activity that may minimize the environmental contamination generated in the cocoa paste production process.

Keywords: Cleaner Production Options, Environmental Indicators, Waste Management, Energy Consumption.

1. INTRODUCCION

El cacao es uno de los principales cultivos en Ecuador, ocupa el 12% de la superficie cultivada y proporciona empleo directo a aproximadamente el 4% de la población activa del país [1]. En el 2019, Ecuador tuvo una producción de 297 067 toneladas e ingresos \$763 880 386, siendo la mayor parte exportada a otros países en granos (86%), para la elaboración de chocolate y otros subproductos [2]. Las provincias con mayor producción de cacao se localizan mayoritariamente en la región costa, aunque, en los últimos años, las provincias amazónicas han comenzado a tener una activa participación en el sector. Específicamente, en la provincia de Pastaza existen alrededor de 550 productores, que aportan la materia prima (granos de cacao) para la demanda local y procesamiento a menor escala en pequeñas asociaciones lo que contribuye al cambio de la matriz productiva [3].

Por otra parte, como plantea Konstantas, *et al.* [4] durante el procesamiento del cacao pueden surgir problemas que afectan el equilibrio del ambiente, pues requiere una considerable demanda de energía, agua y se generan residuos que pueden convertirse en un problema ambiental cuando la disposición es inadecuada. Además, los impactos ambientales asociados a

la industria de monocultivo y procesamiento de cacao son significativos [5], y en el procesamiento las tostadoras debido a la quema de combustible fósil son una causa de impactos ambientales [6].

▪ **Producción más limpia. Una breve revisión de literatura**

La Producción más limpia (PML), fue definida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como "la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente [7]. En los últimos años ha evolucionado y se destaca como la principal estrategia productiva para prevenir los impactos ambientales y la eficiencia de los recursos, especialmente por su potencial para aumentar el control operativo y generar ganancias financieras para empresas [8].

Las PML inciden en la búsqueda de la conservación de materias primas y energía en los procesos de producción, eliminación de materiales tóxicos, reducción de la toxicidad de todos los desechos antes de que sean generados por un proceso [9]. En el caso de los productos, se enfoca en su ciclo de vida y busca reducir el impacto ambiental desde la extracción de materias primas hasta su disposición final [10].

Las PML se divide en tres niveles jerárquicos de opciones prácticas en términos de desempeño ambiental, que tienen como objetivo priorizar las acciones de un proyecto [11]. Las acciones en el nivel 1 de PML se centran en la eliminación o reducción de residuos, efluentes y emisiones en la fuente, lo que implica cambios generales en el producto o proceso de la empresa, algunos como: limpieza, sustitución de materias primas, cambios tecnológicos [12]. Por su parte, las intervenciones del nivel 2 involucran reciclaje interno, acciones como la recuperación y reutilización de energía y materiales desperdiciados en el proceso de producción pueden ser algunas de ellas. Finalmente, en el nivel 3 de PML involucran reciclaje externo, por el cual otras compañías usan los desechos como materia prima para sus productos; y el reciclaje de residuos, efluentes y / o emisiones por ciclos biogénicos, que busca la reintegración de la materia orgánica al medio ambiente a través de los procesos naturales (biogeoquímicos) [11].

Por otro lado, la ecoeficiencia en los últimos años se ha popularizado como una filosofía de gestión que alienta a las empresas a equilibrar su desempeño ambiental y económico promoviendo la innovación, el crecimiento y la competitividad, en intentar alcanzar un cambio sostenible en los negocios y el consumo [13]. Varios autores han declarado que la ecoeficiencia puede ayudar al desarrollo sostenible al integrar actividades en cualquier tipo de negocio, independientemente del tamaño de la empresa o la situación económica [14], y especialmente, ha sido útil en las pequeñas y medianas empresas (PYME) de los países emergentes, porque ha generado ahorros económicos en el mantenimiento, ahorros en el consumo de agua, una reducción en el uso de materias primas y / o demanda de energía, así como algunos cambios en las propiedades de los productos [15]. Mientras, los indicadores de ecoeficiencia miden la relación entre el funcionamiento ambiental y el funcionamiento financiero de la empresa, para ciertos problemas ambientales globales.

▪ **PML. Ecuador**

Desde 1994, el PNUMA, en asociación con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), estableció el programa para alentar la creación de Centros Nacionales de Producción más Limpia (CN-PML), especialmente en los países en desarrollo, con la finalidad de brindar servicios básicos como la difusión de los beneficios de las PML, asistencia técnica personalizada a empresas, capacitación de especialistas y creación de capacidad local, difusión de información técnica, asistencia en la preparación de proyectos de inversión y asistencia a los gobiernos locales [9]. En Ecuador, el Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia (CEER), tiene el objetivo de impulsar esta estrategia y promover el uso eficiente de recursos y las PML a nivel nacional. Recientemente, se publicó la guía para la implementación de las PML a nivel nacional [16], pero contiene pocos casos de estudio, y varios sectores importantes en la economía nacional, y que merecen atención, no han sido analizados. Además, existe poco conocimiento en los sectores productivos nacionales y según la revisión de la literatura, existen estudios de casos limitados sobre la implementación de estrategias de PML en las pequeñas y medianas industrias de procesamiento de cacao en comparación con otras industrias alimentarias.

Puesto que, en Ecuador, es un sector en crecimiento, por la diversificación y búsqueda de nuevos productos y mercados, este estudio se realizó con el objetivo de demostrar que la estrategia de PML puede ayudar a las pequeñas y medianas industrias a mejorar su desempeño ambiental y económico. Una de las pequeñas empresas que se encuentra en proceso de emprendimiento y que tiene como objetivo brindar un valor agregado al cacao ecuatoriano, es la Finca Saquifranca ubicada en la parroquia Puyo, que desde hace aproximadamente 5 años inició la producción de pasta pura de cacao.

El estudio se centra en las oportunidades de PML que pueden reducir las problemáticas ambientales en la planta de producción de cacao, mediante el uso de datos cuantitativos reales. Además, puede ser un caso local para referencia futura de la literatura, ya que todavía hay muchas oportunidades de investigación para esta industria, especialmente en el manejo de desechos orgánicos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es determinar la viabilidad de la aplicación de estrategias de PML, en el procesamiento del cacao en la Finca Saquifranca, Puyo, Pastaza, Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La finca Saquifranca se encuentra ubicada en la Provincia Pastaza, Cantón Pastaza, Parroquia Puyo, Barrio La Palestina, en el km 2, 100 metros al margen izquierdo del paso lateral vía Puyo-Tena, y tiene una extensión de: 60 948.66 m², la posición geográfica corresponde a las coordenadas 1°27'57.57"S ; 78° 0'8.62"O, se encuentra colindando con la Universidad Estatal Amazónica al Norte, posee un ecosistema antropizado ubicado en una zona de transición de cultivos, tiene un clima lluvioso tropical con una temperatura promedio de 20°C y precipitaciones de 4500 mm, está en una zona con pocas edificaciones y cultivos, en la finca se produce caña y cacao (CCN51). Las instalaciones de procesos constan de dos partes la primera que es la zona de preparación de la materia prima, la segunda dedicada al procesamiento de cacao y zona administrativa. La Figura 1 muestra el mapa de la ubicación geográfica de la finca.

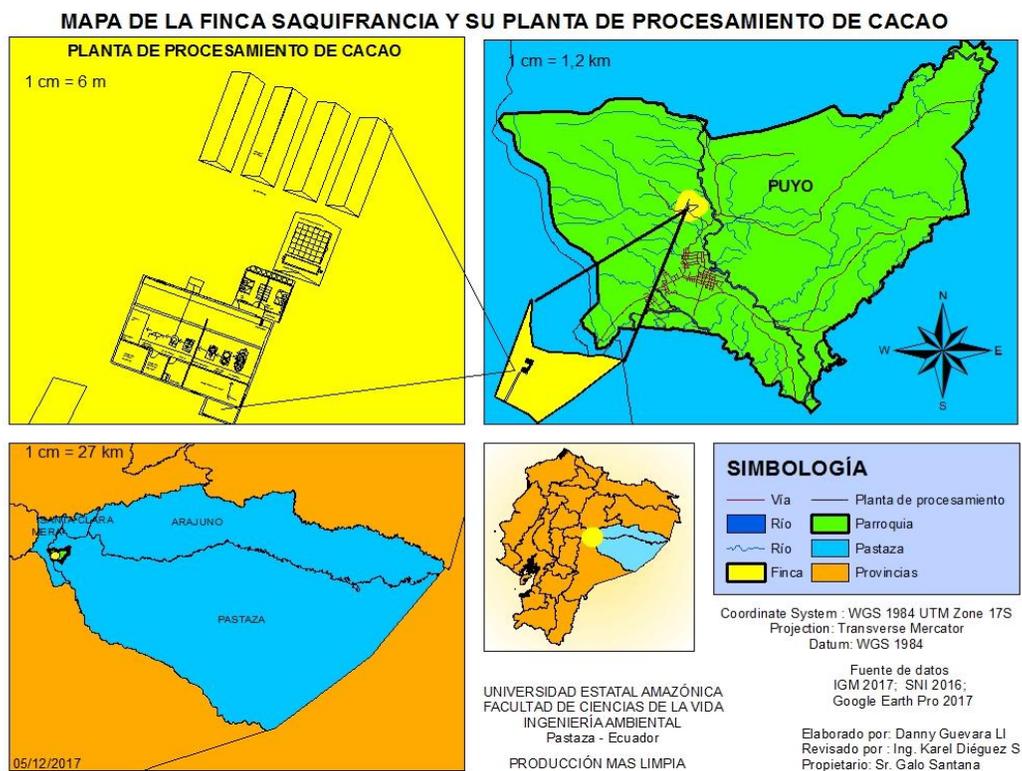


Figura 1: Localización del área de estudio.

2.2 Metodología de Análisis de Producciones más Limpias

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 [16], otras literaturas de estudios de casos en Ecuador [17-19], y 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, y se intentó obtener el compromiso de la gerencia, para ello se expusieron los beneficios económicos y ambientales alcanzables con la aplicación de las PML. También, se organizó el

equipo y se definen 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 [18]. En esta etapa del estudio, participaron todos los grupos de la empresa (gerencia, producción, trabajadores) y del personal externo, grupo de investigación de PML, universidad.

Etapa II: Diagnóstico técnico – económico y ambiental preliminar de la empresa o proceso. Se realizaron varias inspecciones al proceso, desde la recepción de materias primas hasta tener el producto final listo para comercializar. También, como parte del procedimiento, se realizó el diagnóstico inicial, se obtuvo información sobre la actividad, costos de materia prima e insumos, e información ambiental sobre aquellos procesos que generan impactos negativos al medio ambiente. La obtención de estos elementos se llevó a cabo mediante entrevistas, cuestionarios a los propietarios y trabajadores, etc. Se identificaron puntos críticos, se cuantificaron las entradas y salidas, y se contrastó con los reportes obtenidos en la primera fase de este trabajo.

Etapa III: Evaluación técnico – económico y ambiental de la empresa. En esta etapa se elaboraron los balances de materiales para las operaciones unitarias críticas, se cuantificaron 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 estimaron los costos derivados de las ineficiencias productivas. Se identificaron las causas de las ineficiencias y se seleccionaron las oportunidades a ser evaluadas en términos técnicos y económicos [16]. Al final de la etapa, el equipo definió las opciones de mejora a priorizar para la implementación, con el consiguiente estudio de factibilidad.

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. En esta etapa se realizó la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de las mismas, y la selección de las opciones de mejora factibles a implementar. La evaluación técnica, incluyó requisitos de materias primas, agua y energía, variaciones de los productos, la modificación de los métodos de producción e instalaciones, y los cambios en la necesidad de recursos humanos. Mientras, en la evaluación económica se evaluó la rentabilidad de cada estrategia de mejora. Además, se analizó la variación de los indicadores del proceso (productivo, técnico y ambiental), como los requisitos de energía y agua, cantidad de materia prima y materiales auxiliares requeridos, y cantidad de desechos o emisiones.

Etapa V: Implementación de oportunidades viables de producción más limpia: La última fase del proceso es la evaluación y en ella se pretende garantizar que las estrategias o acciones seleccionadas se implementen y que las reducciones resultantes en el consumo de recursos y la generación de desechos se mantengan a lo largo del tiempo. Para la implementación fructífera de las opciones seleccionadas, se debe desarrollar un plan de acción que detalle las actividades que deben llevarse a cabo, los requisitos de recursos humanos y financieros, la persona y el puesto responsable de llevar a cabo esas actividades y el marco de tiempo para completar con hitos intermedios. También, se debe realizar el monitoreo periódico y para medir la efectividad en el tiempo se utilizan algunos indicadores de desempeño.

2.3 Obtención de Datos

Los valores de agua y electricidad fueron tomados diariamente de los medidores de la planta (agua en m³ y electricidad en kWh) y la información se contrastó con las planillas de facturas de esos elementos mensuales. En lo relacionado al consumo de combustible, el proceso consume gas licuado de petróleo (GLP) para el tostado del cacao. En este caso, se cuantificó por el pesaje de kg consumidos, luego de cada turno de trabajo. Además, se cuantificaron todos los residuos sólidos que se generan en todas las etapas del proceso incluyendo los derrames, pérdidas, mermas o desechos por cada etapa del proceso productivo. Los datos obtenidos de los balances de masa, se consideraron para identificar los puntos críticos del proceso. Por su parte, el estudio de la viabilidad económica empleó el criterio de periodo de recuperación de la inversión, a partir de la estimación del costo de inversión requerido para implementar oportunidades de PML y determinar los ahorros y beneficios esperados. La ecuación 1 muestra el período de recuperación esperado.

$$\text{Período de recuperación (año)} = \frac{\text{Costo de inversión}}{\text{ahorro anual}} \quad (1)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Organización. Política. Objetivos de la Empresa

La Finca Saquifranca tiene como principal objetivo insertar la empresa en la economía local, nacional e internacional con el producto (pasta pura de cacao), con altos estándares de calidad y responsabilidad ambiental. Esta empresa familiar ha

adoptado estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible, en función de minimizar los impactos producidos por la operación y mantenimiento al máximo. Además, proporciona fuente de trabajo a los pobladores y productores locales amazónicos. Realiza, las capacitaciones y renovación de prácticas y tiene el firme propósito de cumplir con la legislación Ambiental Vigente.

En el análisis la estructura del comité de PML se realizó en función del organigrama de la empresa y. fue estructurado por diferentes actores, personal administrativo, operativo y asesoramiento ambiental externo.

3.2 Diagnóstico. Revisión Ambiental Inicial. Encuesta Ambiental

Las encuestas y entrevistas se realizadas durante las inspecciones al proceso, permitieron identificar el grado de conocimiento de los trabajadores y administrativos del comportamiento ambiental de la empresa, sobre el funcionamiento de la empresa y el procesamiento del producto. Entre los principales resultados, la mitad del personal menciona conocer sobre los residuos, su composición, peligrosidad y sabe si existe generación en el proceso, el resto desconoce sobre el tema. En cuanto a la identificación de las zonas donde se generan emisiones atmosféricas, la mayoría el 80% conoce, mientras el 20% restante no conoce con exactitud.

Entre los principales problemas ambientales identificados, se puede destacar: la generación de residuos sólidos durante todo el proceso (diversas cantidades por etapas). Por su parte, existe generación de agua residual producto del lavado de los equipos y maquinarias, en este caso, los volúmenes no son elevados, pero la planta carece de planta de tratamiento, por lo que fueron caracterizados los flujos. Además, existe un alto consumo energético en todo el sistema de producción. Estos problemas son frecuentes de la actividad, pues según Recanati, *et al.* [20] en su estudio de la evaluación del ciclo de vida desde la semilla hasta la barra de chocolate en una cadena de suministro de chocolate sostenible, la fabricación del chocolate genera aguas residuales y diferentes tipos residuos sólidos industriales, además de que existe un alto consumo energético en relación al tipo de maquinaria y el tiempo que se utiliza.

3.2.1 Descripción del proceso.

En la observación directa de las instalaciones, revisión y análisis del plano de construcción, se identificaron los respectivos procesos, que se llevan a cabo en la finca Saquifranca. En este caso, son mixtos, un proceso inicial netamente artesanal desde la cosecha, escurrido de granos, fermentación y secado para mantener los microorganismos precursores del sabor y calidad del cacao y otro industrial del procesado que incluye maquinaria y es semi-automático. Las diferentes etapas se pueden apreciar en la Figura 2, y se describen a continuación.

La primera etapa incluye, la cosecha del producto/extracción de granos, en esta etapa se obtienen los granos de cacao. Primeramente, se procede a tomar las mazorcas de cacao que estén maduras, es importante no tomar mazorcas verdes, ni extra-maduras, pues puede afectar la posterior fermentación. Luego, se cortan, y se extraen los granos manualmente, para pasar al escurrido de los granos, donde se dejan reposar durante 24 horas. Una vez terminado, comienza la fermentación. En esta etapa, se colocan los granos en cajones de madera para la fermentación durante 5 o 7 días, en dependencia del clima. Una vez concluida la fermentación, se procede a realizar el secado del grano, desde el 80% de humedad hasta al 7%. El secado se realiza de dos maneras, natural y artificial. En el caso del primero se realiza sobre marquesas (plataformas de madera de laurel cubiertas de plástico). Cuando las condiciones no son favorables para realizar el secado natural se emplea un secador a gas, de capacidad para 200 kg, durante 90 minutos.

Luego del secado, es necesario realizar eliminar todos los materiales extraños de los granos, por lo que se emplea una clasificadora de 200 kg/h con un tamiz rotatorio que clasifica en cuatro tamaños: clase 1 o basurilla, clase 2, clase 3 y Premium o cuarta clase. Las almendras de cacao tienen que tostarse para ayudar la eliminación de la cascarilla y para que los precursores del sabor (azúcares, aminoácidos que se forman durante la fermentación) se combinen y le terminen de dar el sabor a las almendras. En este proceso se obtiene una pérdida de granos aproximada de un 4%. Esto se realiza en una tostadora con quemador a gas, con capacidad de 100 kg por lote y con duración de 40 minutos, y para que el proceso sea más uniforme se realiza según la clasificación del grano (2° clase, 3° clase y Premium).

Mientras, como consecuencia del tostado, la cáscara que está adherida fijamente al grano en el cacao crudo, se separa de este. Esto se realiza en equipos como el triturador y la descascarilladora, con una capacidad de alimentación de 100 kg, luego el grano se debe enfriar mediante un ventilador. El cacao y las cáscaras trituradas, son separados por tamices de diferentes calibres, las cáscaras por su forma y menor peso específico son arrastradas por una corriente de aire, separándose de esta manera del cacao. El cacao triturado libre de cáscara es conocido como Nibs. Los restos de cáscara de este proceso es aproximadamente el 7,5 % de la alimentación. Además, este proceso en la finca tiene una larga duración ya que la

maquinaria no está funcionando correctamente y se le debe realizar el mismo procedimiento hasta 3 veces por cada 100 kg para garantizar que el grano este correctamente descascarillado.

Para los siguientes procesos los Nibs de cacao se colocan en una máquina llamada U-200 la cual realiza 3 procesos en uno (molido, conchado y refinado), con una capacidad aproximada de 200 kg, por 30 minutos. En la molienda, se reduce el tamaño de los granos de cacao a partículas (~75 µm), los Nibs se transforman en una pasta fluida llamada licor de cacao, producto del calor emitido por la fricción durante el proceso. En el refinado, se reducen las partículas del cacao pulverizándolo, hasta llegar a una dimensión de 17 µm aproximadamente. Luego, el conchado, es la etapa donde se le proporciona su característica de oxigenación y cremosidad exacta, al mismo tiempo que se extrae la acidez natural del chocolate este procedimiento garantiza su textura aterciopelada. Luego, en la etapa del atemperado, se abrillanta la pasta de cacao, con variaciones de temperatura, se realiza un equipo de capacidad de 200 L a 30 rpm. La pasta de cacao ingresa a 80°C, desciende a 28°C y luego aumenta a 36°C para destruir cristales no deseados que no afecten el moldeado.

Finalmente, en el moldeado y empaquetado, la pasta, se coloca en moldes de acero de 1 kg y 2 kg y luego proceder con el empaquetado colocando la pasta de cacao en fundas especiales de productos alimenticios, después de este proceso se continua con el almacenamiento de la pasta de cacao, en un cuarto frio a una temperatura de 7-10°C para lograr su consistencia, y luego almacenarla en la bodega de producto terminado, siendo pasta 100% cacao puro, lista para su entrega.

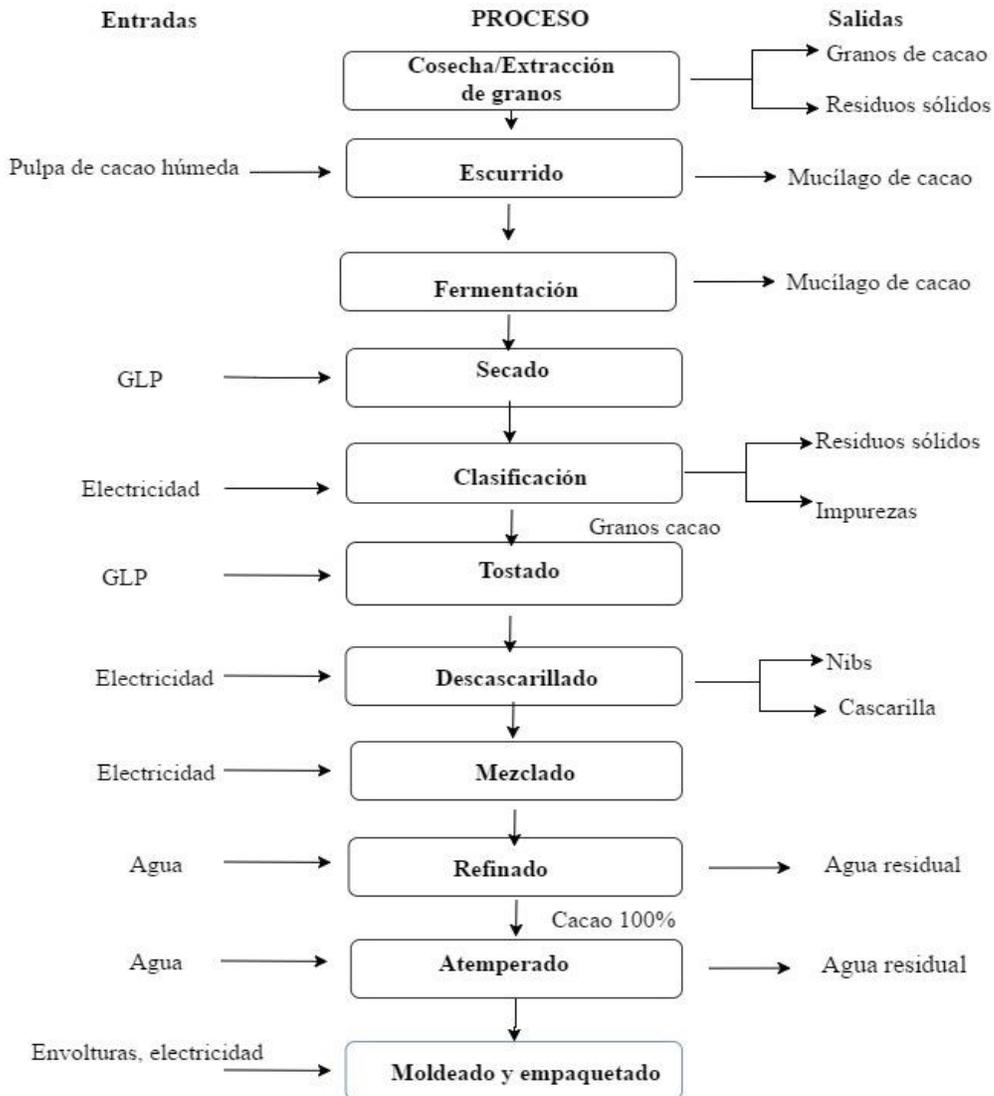


Figura 2: Diagrama de procesos para la obtención de pasta de cacao.

3.2.2 Ecomapa

En la Figura 3, se muestra el ecomapa del proceso de producción, con sus respectivas zonas de puntos críticos, emisiones, residuos y aguas residuales, así como las zonas de consumo energéticos, entradas y salidas, materia prima en proceso y líneas de flujo. Como se puede apreciar, las áreas más críticas están asociadas con la generación de residuos sólidos, y consumos energéticos.

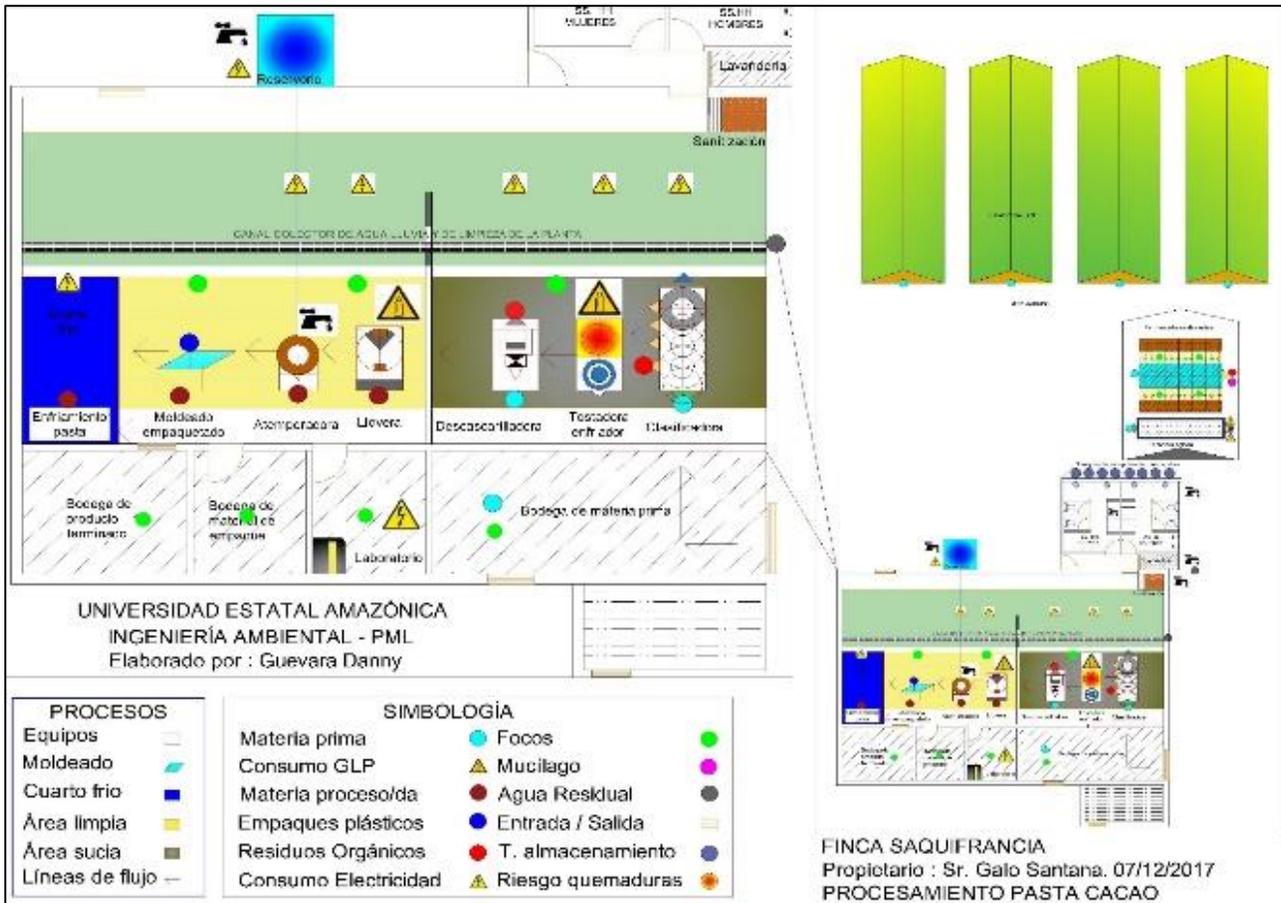


Figura 3: Ecomapa de la planta de procesamiento.

3.3 Evaluación técnica–económico y ambiental de la empresa. Formulación de alternativas.

La Tabla 1 muestra las entradas y salidas de las etapas expuestas en la descripción del proceso. Como se puede observar, existen pérdidas en los procesos de fermentación (mucilago), tostado (4%), descascarillado (7,5%), y molido, refinado, temperado (1% pérdida en equipo). Estos valores se consideran normales del proceso de obtención del chocolate, pues, como menciona *Vásquez, et al.* [21] aproximadamente el 80% de la fruta de cacao se descarta como biomasa residual durante su procesamiento, siendo principalmente, mucilago, restos de mazorcas y cáscaras de los granos de cacao.

TABLA 1 – BALANCE DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS, CONSUMOS ENERGÉTICOS, POR LOTE DE PRODUCCIÓN

Entradas		
Tipo de materia entrada	UM	Cantidad
Cacao bruto	kg	2148
Agua	m ³	0,99
Electricidad	kWh	19,05

GLP	kg	7,5
Fundas de polietileno	kg	0,9
Cartón	kg	1,2
Salidas		
Pasta de cacao (Producto)	kg	120
Restos de mazorcas de cacao	kg	1611
Restos de cacao (Escurreido)	kg	5,37
Mucílago	kg	10,63
H ₂ O residual	m ³	0,99
Impurezas de clasificación	kg	4,22
Cenizas del tostado	kg	5,63
Cáscaras	kg	10,13
Pérdidas en equipos	kg	4,92

Mientras, el consumo de agua y energético por usos y equipos se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2 – CONSUMOS DE AGUA Y ENERGÉTICOS POR CADA LOTE DE PRODUCCIÓN

Consumo agua		
Actividad/Etapa	UM	Cantidad
Consumo operaciones (limpieza)	m ³	0,73
Proceso (equipos)	m ³	0,10
Consumo servicios higiénicos y aseo personal	m ³	0,16
Subtotal	m ³	0,99
Consumo energía eléctrica		
Clasificadora	kWh	3,73
Tostadora/enfriado	kWh	0,75
Descascarilladora	kWh	1,12
Universal 200	kWh	9,5
Atemperadorara	kWh	0,75
Secadora artificial	kWh	0,75
Bomba de agua	kWh	0,75
Etiquetadora/Envase	kWh	0,4
Cuarto frío	kWh	13,7
Iluminación	kWh	0,3
Subtotal día		31,75

3.3.1 Oportunidades de mejora

La Tabla 3 muestra las oportunidades de mejora consideradas a partir del análisis de flujo. Para la propuesta de opciones de PML, se revisó la literatura y se realizaron mediciones in situ. Por ejemplo, en el caso de la electricidad y las opciones que se proponen, se verificó que los equipos en ocasiones están más tiempo del planificado encendido por lo que una disminución del 10% es posible, como también en el caso de las luminarias, que, aunque consumen poca electricidad, un mínimo ahorro es una medida positiva. En el caso del sistema de climatización del cuarto frío de almacenamiento, se consideraron los criterios expuestos por Rahim and Raman [22], donde con estas medidas es posible ahorrar un 2% en cada caso.

En la propuesta de elaboración de compost, se siguieron las directrices de Caiza, *et al.* [19] para el proceso, y para el diseño los resultados de relación carbono/nitrógeno de Vitinaqailevu and Rajashekhar Rao [23] que muestra que los residuos de cacao presentan relaciones C/N de 27,8, considerada adecuada para el proceso. A partir de estos estudios se consideró incorporar los 1 647 kg de residuos sólidos a compostar, lo que produciría 549 kg de compost, que podrían comercializarse o incorporarse a los cultivos propios de la finca, en sustitución de fertilizantes químicos. En la provincia Pastaza, cada 40 kg de compost se comercializan a 6 USD, por lo que se empleó ese valor referencial, reportando 82,35 USD. Estos valores fueron analizados por año, para el resumen de la Tabla 5.

TABLA 3 – RESUMEN DE LAS OPCIONES DE PML, CON LOS CONSIGUIENTES AHORROS ANUALES

Indicador de mejora	Opción PML	Costos estimados de inversión (USD)	Unidad de medida	Ahorro anual/Ganancia		Período de recuperación (año)
				Cantidad	Valor (USD)	
Electricidad	Realizar en ingreso rápido a la cámara fría inmediatamente después del procesamiento.	-	kWh	100,1	20,02	Inmediato
Electricidad	Minimizar la frecuencia de apertura.	-	kWh	100,1	20,02	Inmediato
Electricidad	Optimización de tiempo de funcionamiento de equipos de proceso Envase y etiquetado	-	kWh	432	86,4	Inmediato
Electricidad	Mejor aprovechamiento de la iluminación (uso luz natural evitar las encendidas innecesarias, y Limpieza periódica	-	kWh	43,8	8,76	Inmediato
Gestión de residuos	Incorporar un sistema de compostaje para los desechos orgánicos de proceso.	5000	kg	395 276,89*	19 764	0,46
Agua	Crear procedimientos de limpieza para el ahorro del agua de ese uso.	-	m ³	42,72	44,43	Inmediato

* Esta cantidad de residuos, permitiría obtener 3 294 sacos de compost de 40 kg.

En el caso de la electricidad, todas las opciones propuestas, permiten tener un ahorro de 676 kWh al año, que representa 135,2 USD, lo que también se puede considerar una disminución de 229,84 kg CO₂ equivalente, pues como plantea Narváez [24], el factor de emisión de la generación de electricidad en Ecuador, es de 0,34 kg CO₂/kWh, pues a pesar de que en los últimos años, se ha modificado la matriz energética a hidroeléctrica, el resto de la generación es principalmente a partir de combustibles fósiles [25].

Como se puede apreciar, la mayoría de las opciones tienen una viabilidad económica adecuada, donde la mayoría de ellas tienen periodos de recuperación inmediatos, esto está asociado a que son cambios, como buenas prácticas operativas, programas de ahorro, y estrategias que pueden ser tomadas dentro del proceso, y que solo necesita la gestión de trabajadores y directivos. En el caso de la gestión de residuos por el proceso de compostaje, requiere inversión, pero el periodo de recuperación es menor de un año, lo que refleja la viabilidad económica de la propuesta. Además, permite revalorizar los residuos orgánicos, según el nuevo Reglamento del Código Orgánico del Ambiente, vigente desde el 2019, define los artículos 598 al 600, las responsabilidades y obligaciones de los generadores industriales, donde al menos las empresas deberán desarrollar e implementar en su plan de manejo ambiental un proceso para el aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos [26], por lo que la empresa, debe considerar un tema de vital importancia, a los residuos sólidos, para el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

En cuanto a las aguas residuales son descargas que no están siendo dispuestas correctamente, ya que se vertido se hace directamente a suelos y cuerpos de agua adyacentes al lugar, donde pueden incrementar el potencial de acidificación y

eutrofización [27, 28]. Aunque, resultados del monitoreo, presentaron que cumplían con los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, de descargas a cuerpos de agua dulce.

3.3.2 Análisis de indicadores de ecoeficiencia del proceso

En cuanto a la viabilidad ambiental del proceso y las opciones de PML, la tabla 4, muestra la comparación de algunos indicadores ambiental y productivos en base a cada kg de pasta de cacao obtenido. Como se puede apreciar las opciones PML permitirán reducir por cada kg de cacao obtenido hasta 0,007 m³ de agua (18%), la electricidad (13,71%), y la generación de residuos un 99,7%, puesto que la fracción mayoritaria se empleará para la elaboración de compost.

TABLA 4 - INDICADORES AMBIENTALES Y PRODUCTIVOS POR KG DE MASA DE CACAOPRODUCIDO, SITUACIÓN ACTUAL E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PML

Indicador	Unidad	SIN PML	CON PML	% de reducción
Electricidad	kWh	0,269	0,234	13,21
Agua	m ³	0,008	0,007	18,00
GLP	kg	0,063	0,063	-
Residuos sólidos	kg	13,766	0,041	99,70

Esto coincide con los criterios expuestos por el Banco Mundial, sobre la implementación de opciones de PML de bajo costo, que pueden reducir la generación los consumos de energéticos y reducir las emisiones de CO₂ hasta un 70% [29]. Las opciones de ahorro de agua y energía han sido analizadas por [22, 30] en industrias de alimentos y permiten ahorrar hasta un 40%, de similar manera cuando los residuos sólidos son bien gestionados disminuyen considerablemente en los procesos, aunque es preferible que sean minimizados.

Adicionalmente, es opciones de mejora analizadas están dentro del marco normativo, puesto que, en Ecuador, desde la Constitución de la República del Ecuador en el artículo 15, menciona que “El Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”[31]. Además, el Código Orgánico del Ambiente, el Artículo 245, del Título VI. Producción y consumo sustentable, y Libro 3 Calidad Ambiental, establece las obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable, para todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, el literal 4, “Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto”; mientras el literal 5 menciona “Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones”; y el literal 9. “Minimizar y aprovechar los desechos”, por lo que estrategias encaminadas a ello, se encuentran amparadas bajo el marco normativo nacional [32].

4. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en la producción de cacao en pasta de la Finca Saquifranca muestra varias deficiencias, consumos elevados de energéticos, agua, y generación de residuos. Se analizaron opciones de PML, para la mejora de los procesos, en cuanto al ahorro de electricidad, agua y gestión de residuos. El análisis de la viabilidad técnica económica y ambiental, muestra resultados favorables, puesto que la recuperación de la inversión en mayoría de las opciones es inmediata y en el caso de realizar inversión, los tiempos son inferiores a un año, lo que refleja la viabilidad económica. La comparación del funcionamiento ambiental del proceso con la implementación de las PML como oportunidades de mejora ambiental, muestra una disminución del consumo de electricidad, agua, y residuos sólidos generados de 13,2%, 18% y 99,7% respectivamente, lo refleja que pequeñas modificaciones pueden convertir a los procesos más ecoeficientes con el consiguiente ahorro de recursos y disminución de emisiones. Finalmente, se recomienda validar estas propuestas, considerar la incorporación de 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 producción de cacao en pasta.

5. REFERENCIAS

- [1] D. Pérez Neira, "Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 2560-2568, 2016/01/20/ 2016.

- [2] MAG. (2019, 14/03). *Sistema de información pública agropecuaria. Productos agropecuarios. Principales productos agrícolas. Cacao*. Available: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/comercio-externo>
- [3] GAPPz. (2017). *Producción*. Available: <http://www.pastaza.gob.ec/obras-y-proyectos/produccion>
- [4] A. Konstantas, H. K. Jeswani, L. Stamford, and A. Azapagic, "Environmental impacts of chocolate production and consumption in the UK," *Food Research International*, vol. 106, pp. 1012-1025, 2018/04/01/ 2018.
- [5] A. Kamp and H. Østergård, "Environmental sustainability assessment of fruit cultivation and processing using fruit and cocoa residues for bioenergy and compost. Case study from Ghana," *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, pp. 329-340, 2016/08/15/ 2016.
- [6] A. Ntiamoah and G. Afrane, "Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 16, pp. 1735-1740, 2008/11/01/ 2008.
- [7] UNEP. (1990, 27.7). *Resource efficiency and cleaner production*. Available: <http://www.unep.org/recp/>
- [8] J. A. de Oliveira, D. A. L. Silva, M. Guardia, L. do Nascimento Gambi, O. J. de Oliveira, and A. R. Ometto, "How can Cleaner Production practices contribute to meet ISO 14001 requirements? Critical analysis from a survey with industrial companies," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 19, no. 6, pp. 1761-1774, 2017/08/01 2017.
- [9] UNEP/UNIDO, "Guidance Manual: How to Establish and Operate Cleaner Production Centres," UNIDO, Vienna, Austria 2017, Available: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/WEBx0072xPA-CPcentre.pdf>.
- [10] A. R. Ramos, J. C. E. Ferreira, V. Kumar, J. A. Garza-Reyes, and A. Cherrafi, "A lean and cleaner production benchmarking method for sustainability assessment: A study of manufacturing companies in Brazil," *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, pp. 218-231, 2018/03/10/ 2018.
- [11] J. C. Filho, T. V. Nunhes, and O. J. Oliveira, "Guidelines for cleaner production implementation and management in the plastic footwear industry," *Journal of Cleaner Production*, vol. 232, pp. 822-838, 2019/09/20/ 2019.
- [12] F. C. Denham, Janet R. Howieson, V. A. Solah, and W. K. Biswas, "Environmental supply chain management in the seafood industry: past, present and future approaches," *Journal of Cleaner Production*, vol. 90, pp. 82-90, 2015/03/01/ 2015.
- [13] P. Heikkurinen, C. W. Young, and E. Morgan, "Business for sustainable change: Extending eco-efficiency and eco-sufficiency strategies to consumers," *Journal of Cleaner Production*, vol. 218, pp. 656-664, 2019/05/01/ 2019.
- [14] J. Vásquez, S. Aguirre, C. E. Fuquene-Retamoso, G. Bruno, P. C. Priarone, and L. Settineri, "A conceptual framework for the eco-efficiency assessment of small- and medium-sized enterprises," *Journal of Cleaner Production*, vol. 237, p. 117660, 2019/11/10/ 2019.
- [15] T. Q. Ho, V.-N. Hoang, C. Wilson, and T.-T. Nguyen, "Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam," *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 251-260, 2018/05/10/ 2018.
- [16] CEER, *Guía de producción más limpia*. Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción Más limpia CEER 2019, p. 47.
- [17] N. G. Guallo Aguinda, L. B. Sarduy 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.
- [18] E. V. Cárdenas, J. M. Maldonado, R. A. Valdez, 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.
- [19] D. Caiza, A. Chimbo, L. B. Sarduy-Pereira, W. E. Pisco, and K. Diéguez-Santana, "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*, vol. junio, 2018.
- [20] F. Recanati, D. Marveggio, and G. Dotelli, "From beans to bar: A life cycle assessment towards sustainable chocolate supply chain," *Science of The Total Environment*, vol. 613-614, pp. 1013-1023, 2018/02/01/ 2018.
- [21] Z. S. Vásquez *et al.*, "Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review," *Waste Management*, vol. 90, pp. 72-83, 2019/05/01/ 2019.
- [22] R. Rahim and A. A. Raman, "Cleaner production implementation in a fruit juice production plant," *Journal of Cleaner Production*, vol. 101, pp. 215-221, 2015/08/15/ 2015.
- [23] R. Vitinaqailevu and B. K. Rajashekhar Rao, "The role of chemical amendments on modulating ammonia loss and quality parameters of co-composts from waste cocoa pods," *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 8, no. 1, pp. 153-160, 2019/12/01 2019.
- [24] R. P. Narváez, "Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014," *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, vol. 7, no. 2, pp. C80-C85, 2015.

- [25] L. E. Arteaga-Pérez, C. Segura, and K. Diéguez Santana, "Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica," *Afinidad*, vol. LXXIII, no. 573, pp. 60-68, 2016.
- [26] *Reglamento del Código Orgánico del Ambiente*, Decreto Ejecutivo No. 752, 2019.
- [27] 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.
- [28] 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 faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador," *Prospectiva*, vol. 18, no. 1, 2020.
- [29] W. Bank, *Pollution prevention and abatement handbook 1998: Toward Cleaner Production*. Washington, D.C., U.S.A: The World Bank Group, 1999.
- [30] K. Diéguez-Santana, L. E. Arteaga-Pérez, Y. Casas Ledón, and I. L. Rodríguez Rico, "Análisis de ciclo de vida y caracterización ambiental en una industria alimenticia," *Revista Centro Azúcar*, vol. 40, pp. 52-58, 2013.
- [31] *Asamblea Constituyente. Constitución de la República del Ecuador*, Registro Oficial No. 449 del 20 de octubre de 2008, 2008.
- [32] *Código Orgánico del Ambiente*, Registro Oficial N° 983, 12 de abril de 2017, 2017.