

Gestión energética sostenible en la agroindustria del café: diagnóstico previo a ISO 50001

Sustainable Energy Management in the Coffee Agroindustry: Diagnostic Assessment Prior to ISO 50001 Implementation

René Fernando Domínguez-Cruz¹   Juan José Zelaya-Zeledón²  Alonso Vargas-Vargas³ 
Yadira Aracely Fuentes-Rubio¹ 

¹ Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Rodhe. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

² Independent researcher. Universidad Nacional Francisco Luis Espinoza Pineda, Estelí, Nicaragua.

³ Independent researcher. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Resumen

Introducción: Antes de implementar un Sistema de Gestión de la Energía conforme a la norma ISO 50001, se requiere un diagnóstico de ingeniería estructurado para identificar los usos energéticos significativos, establecer líneas de base fiables y respaldar la toma de decisiones técnicas.

Objetivo: Este estudio tiene como objetivo desarrollar y aplicar una evaluación diagnóstica basada en la ingeniería para evaluar el desempeño energético inicial y el cumplimiento de la norma ISO 50001 de una planta agroindustrial de café.

Métodos: Se empleó un enfoque transversal, no experimental y de métodos mixtos. La metodología integró análisis documental, entrevistas semiestructuradas, cuestionarios validados y datos históricos de consumo de energía (electricidad, gas licuado de petróleo y leña) durante el periodo 2020-2024.

Resultados: El diagnóstico reveló un nivel de cumplimiento inicial de aproximadamente el 28 % con los requisitos de la norma ISO 50001 e identificó el secado y el tostado como procesos que consumen energía de manera significativa, representando más del 50 % del consumo eléctrico. Se estableció una línea base energética promedio de 344 200 kWh eq/año.

Conclusiones: El marco de diagnóstico propuesto proporciona una herramienta de ingeniería reproducible para respaldar la toma de decisiones basada en datos antes de la implementación de la norma ISO 50001. Los resultados demuestran su aplicabilidad en contextos agroindustriales y su potencial para guiar las estrategias de eficiencia energética, la planificación de inversiones y la gestión energética sostenible.

Keywords: Agro-industrial systems; Energy assessment; Energy efficiency; Energy performance indicators; ISO 50001; Sustainable energy management; Engineering framework

Abstract

Introduction: Before implementing an Energy Management System in accordance with ISO 50001, a structured engineering diagnostic is required to identify significant energy uses, establish reliable baselines, and support technical decision-making.

Objective: This study aims to develop and apply an engineering-based diagnostic assessment to evaluate the initial energy performance and compliance with ISO 50001 of an agro-industrial coffee plant.

Methods: A cross-sectional, non-experimental, mixed-methods approach was used. The methodology integrated document analysis, semi-structured interviews, validated questionnaires, and historical energy consumption data (electricity, liquefied petroleum gas, and firewood) for the period 2020–2024.

Results: The diagnostic revealed an initial compliance level of approximately 28% with the requirements of ISO 50001 and identified drying and roasting as processes that consume significant energy, representing more than 50% of electricity consumption. An average energy baseline of 344,200 kWh eq/year was established.

Conclusions: The proposed diagnostic framework provides a reproducible engineering tool to support data-driven decision-making prior to the implementation of ISO 50001. The results demonstrate its applicability in agro-industrial contexts and its potential to guide energy efficiency strategies, investment planning, and sustainable energy management.

Palabras clave: Sistemas agroindustriales; Evaluación energética; Eficiencia energética; Indicadores de desempeño energético; ISO 50001; Gestión energética sostenible; Marco de ingeniería.

¿Cómo citar?

Domínguez-Cruz RF, Zelaya-Zeledón JJ, Vargas -Vargas A, Fuentes-Rubio YA. Gestión energética sostenible en la agroindustria del café: diagnóstico previo a ISO 50001. Ingeniería y Competitividad, 2026, 28(2) e-20415642

<https://doi.org/10.25100/iyv.v28i2.15642>

Recibido: 11/02/26

Revisado: 15/04/26

Aceptado: 14/05/26

Online: 21/05/26

Correspondencia

rfdominguez@docentes.uat.edu.mx



Contribución a la literatura

Este estudio contribuye a la literatura al proponer un marco de diagnóstico basado en la ingeniería para la evaluación preliminar de la implementación de la norma ISO 50001 en la agroindustria cafetalera, integrando indicadores de desempeño energético, líneas base energéticas, análisis FODA-CAME y proyecciones basadas en escenarios dentro de un enfoque metodológico unificado. Además, proporciona evidencia empírica de un contexto agroindustrial latinoamericano, donde los estudios relacionados con los sistemas de gestión energética en plantas procesadoras de café son aún limitados.

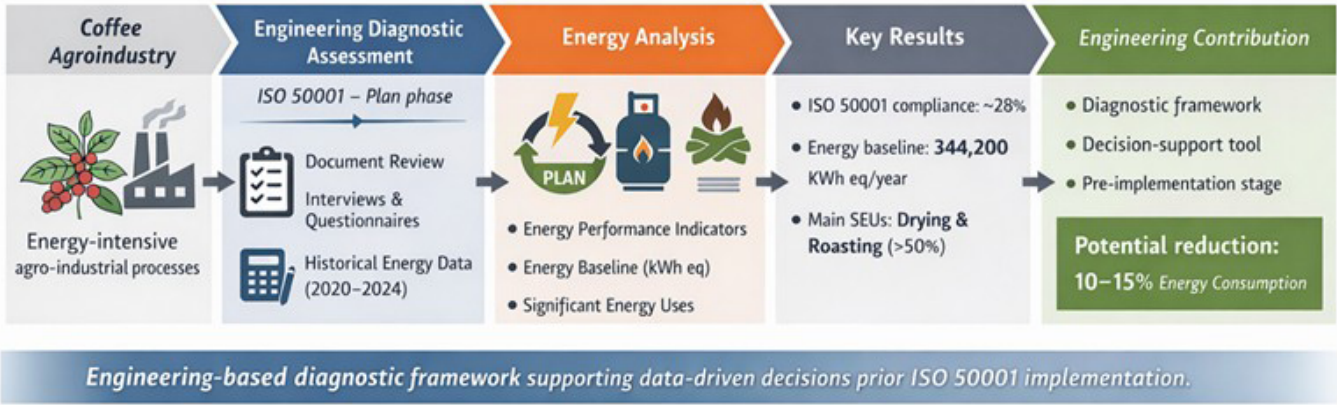
Los resultados más relevantes incluyen:

Un nivel inicial de cumplimiento de la norma ISO 50001 de aproximadamente el 28%, identificando la planificación, el soporte y la mejora como las principales áreas que requieren desarrollo. El establecimiento de una línea base energética basada en datos históricos de consumo de 2020 a 2024, considerando electricidad, gas licuado de petróleo y biomasa. La identificación del secado y el tostado como los procesos de mayor consumo energético. Proyecciones basadas en escenarios que indican que las medidas de eficiencia energética podrían reducir el consumo total de energía en aproximadamente un 13% y mitigar alrededor de 16 toneladas de emisiones de CO₂ equivalente anualmente.

Estos resultados contribuyen a lo siguiente:

Fortalecer los enfoques metodológicos para las evaluaciones preliminares de la norma ISO 50001 en sistemas agroindustriales. Apoyar la toma de decisiones basada en datos para la planificación energética y las estrategias de mejora continua. Demostrar la relación entre la eficiencia energética y la mitigación del impacto ambiental en la industria del procesamiento del café. Proporcionar un marco reproducible que pueda adaptarse a otros sectores agroindustriales que buscan prácticas de gestión energética sostenible.

Graphical Abstract



Introducción

En el contexto global actual la eficiencia energética se ha convertido en un elemento clave para la sostenibilidad empresarial, la reducción de costos operativos y la mitigación del cambio climático. Las industrias con procesos de producción intensivos en energía, como las del sector agroindustrial, se enfrentan al reto de optimizar su consumo energético sin comprometer la productividad. En este sentido, la adopción de sistemas estructurados de gestión energética representa un camino viable y esencial para promover operaciones más limpias, resilientes y competitivas.

La norma ISO 50001:2018 proporciona un marco sistemático que permite a las organizaciones desarrollar políticas, objetivos, planes de acción y mecanismos de monitorización para gestionar eficazmente el consumo energético, siguiendo el ciclo de mejora continua conocido como Plan-Do-Check-Act. (1, 2). La aplicación de esta norma ha demostrado su eficacia en diversos sectores industriales al permitir reducciones en los costos operativos, mejoras en la optimización de recursos y disminuciones en las emisiones de gases de efecto invernadero (3, 4). Estos beneficios están directamente alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el Objetivo 7 (Energía Asequible y Limpia), el Objetivo 9 (Industria, Innovación e Infraestructuras), el Objetivo 12 (Consumo y Producción Responsables) y el Objetivo 13 (Acción Climática), posicionando la gestión energética como un factor clave para avanzar en la sostenibilidad global.

El diagnóstico energético realizado antes de la implementación de un sistema de gestión energética es fundamental para identificar usos energéticos significativos, establecer referencias y definir indicadores de rendimiento energético que guíen las estrategias de mejora. En sectores como el tratamiento de agua, se han documentado aplicaciones exitosas de la norma ISO 50001, mostrando mejoras sustanciales en la eficiencia, aunque con limitaciones relacionadas con la falta de descripciones detalladas de la fase diagnóstica (5). En la industria de procesamiento de alimentos, la adopción de esta norma ha permitido estructurar procesos mediante la identificación y control de usos energéticos significativos, apoyando su viabilidad para otros sectores de procesamiento como la producción de café (4, 6). Sin embargo, dentro del contexto latinoamericano, existe una escasez de estudios que documenten específicamente la etapa diagnóstica en empresas dedicadas al procesamiento del café, lo que representa una oportunidad para generar conocimiento que sea tanto aplicable como replicable en el sector.

Desde una perspectiva ingenieril, este trabajo aporta un marco diagnóstico estructurado que integra la línea base energética, indicadores de rendimiento energético y proyecciones basadas en escenarios dentro del contexto de ISO 50001. El enfoque propuesto apoya la toma de decisiones basada en datos antes de la implementación del sistema y proporciona a los ingenieros industriales una herramienta cuantitativa para priorizar acciones de eficiencia energética, evaluar alternativas tecnológicas y planificar futuras inversiones en instalaciones agroindustriales.

El objetivo de este estudio es presentar un diagnóstico energético estructurado en una empresa agroindustrial de procesamiento de café ubicada en Costa Rica, identificar áreas críticas de consumo, evaluar el nivel inicial de cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 50001 y proponer directrices preliminares que sirvan como base para la mejora continua. Aunque la fase de implementación no se aborda en este trabajo, el diagnóstico realizado proporciona información

estratégica para la toma de decisiones y establece una base sólida para el progreso hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad empresarial. Además, este estudio de caso ofrece una referencia útil para otras organizaciones del sector agroindustrial interesadas en la transición hacia sistemas productivos que contribuyan directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Este estudio representa una contribución única al sector cafetero latinoamericano al proporcionar una documentación detallada de la fase diagnóstica conforme a la norma ISO 50001:2018.

Metodología

Este estudio se llevó a cabo bajo la filosofía de mejora continua establecida por la norma ISO 50001, que se basa en el ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) (7). Dado que el alcance de la investigación se centraba exclusivamente en la fase diagnóstica, todas las actividades se concentraron en la "Planque incluye el análisis energético, la identificación de usos energéticos significativos, la definición de indicadores de rendimiento y el desarrollo de acciones preliminares de mejora.

La Figura 1 ilustra la estructura del ciclo PDCA aplicada a la gestión energética, donde el liderazgo constituye el eje central que integra las etapas de planificación, ejecución, verificación y mejora. Este modelo permitió la organización y delimitación del proceso diagnóstico realizado en este estudio, dejando las etapas "Do", "Check" y "Act" como fases futuras para la implementación completa del sistema de gestión energética conforme a ISO 50001(7).

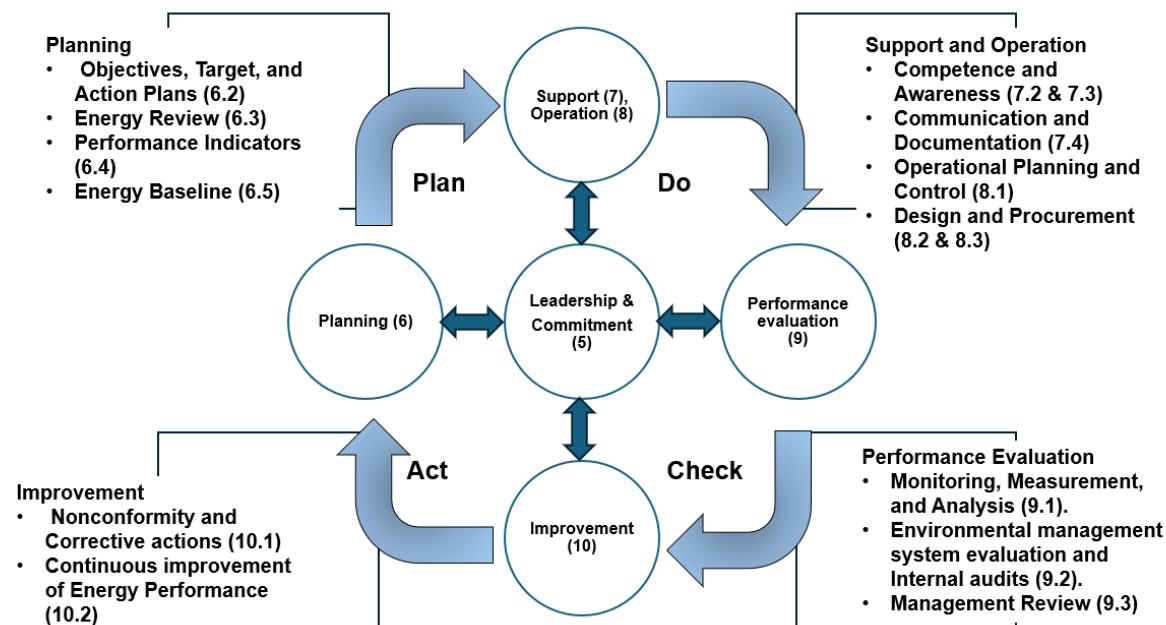


Figura 1. Modelo PDCA aplicado al diagnóstico energético y a la futura implementación de un sistema de gestión energética conforme a ISO 50001:2018. La figura ilustra las fases clave y sus interacciones para mantener la mejora continua del rendimiento energético.

Tipo de estudio

La investigación se llevó a cabo utilizando una metodología mixta, que integraba métodos cuantitativos y cualitativos. Se aplicó un diseño transversal no experimental, que permitió combinar

los registros históricos de consumo energético con información cualitativa obtenida mediante entrevistas y cuestionarios. Este enfoque permitió un diagnóstico exhaustivo de la situación energética de la organización (8).

Área de estudio

El diagnóstico se realizó en una empresa agroindustrial dedicada al procesamiento del café, representativa del sector cafetero en América Latina, y ubicada específicamente en Costa Rica. La organización opera bajo un modelo cooperativo que involucra a cientos de productores locales, generando un impacto económico y social significativo en la región.

Sus operaciones abarcan toda la cadena de valor, desde la recepción de materias primas hasta la industrialización y comercialización del producto final en mercados nacionales e internacionales.

Los procesos principales incluyen la recepción y la pulpa del grano, la fermentación y lavado, el secado, el tueste, la molienda, el envasado y la distribución. Estas etapas se caracterizan por un alto consumo energético, especialmente en los procesos de secado, tueste y transporte interno, que se identificaron como los usos energéticos más significativos dentro de la empresa.

La organización opera bajo un sistema de gestión integrado que promueve la calidad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, principalmente el Objetivo 7 (Energía Asequible y Limpia), el Objetivo 9 (Industria, Innovación e Infraestructuras) y el Objetivo 12 (Consumo y Producción Responsables).

Debido a restricciones de confidencialidad, se omiten nombres específicos, ubicaciones y cifras exactas de producción.

La Figura 2 presenta el flujo general del proceso de la línea de producción de café evaluada en este estudio.

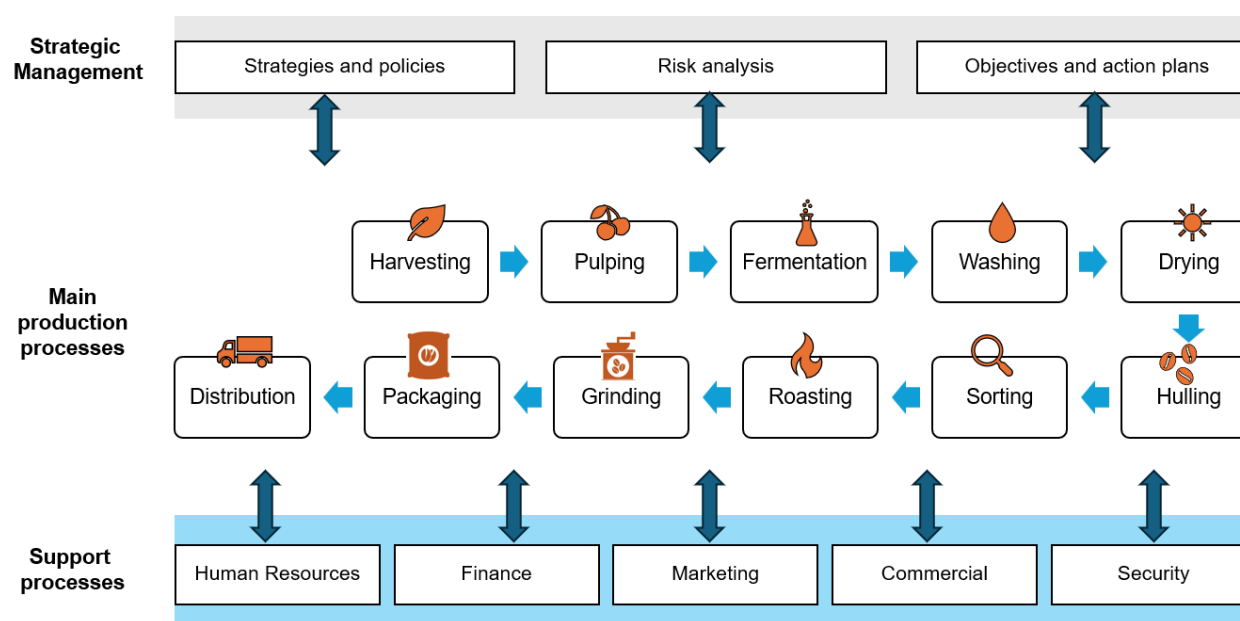


Figura 2. Mapa general de procesos de la producción de café

Recogida de datos (Fase de planificación)

La recopilación de información se realizó a través de tres líneas principales de acción:

- a. Análisis documental: revisión de políticas internas y registros históricos de consumo energético (electricidad, biomasa y gas licuado de petróleo) durante el periodo 2021–2024.
- b. Entrevistas y cuestionarios: los instrumentos fueron validados mediante juicio experto y una prueba piloto con personal operativo.
- c. Medición y seguimiento históricos: recopilación de mediciones directas e informes de producción para identificar patrones de consumo energético.

Población y muestra

La población estudiada estaba compuesta tanto por personal estratégico como operativo de la compañía.

La muestra se seleccionó mediante muestreo intencionado, priorizando a individuos con conocimiento directo de los procesos relacionados con la energía y el funcionamiento de equipos críticos:

Entrevistas semiestructuradas: realizadas con ocho miembros del personal responsables de la administración, producción, calidad y áreas de mantenimiento.

Cuestionarios: aplicado a veinticinco trabajadores operativos, centrados en identificar prácticas y percepciones respecto al uso de la energía.

Herramientas de diagnóstico

Matriz de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (DAFO): identificar factores internos y externos que afectan a la gestión energética (9).

Matriz Correctiva, Adaptativa, de Mantenimiento y Exploratoria (CAME): estructurar estrategias de mejora basándose en los factores identificados (9).

Indicadores de rendimiento energético: seleccionados conforme a ISO 50001 para procesos críticos como secado, tueste y transporte interno.

Referencia energética: establecida utilizando el consumo medio de los últimos tres años, considerando los periodos de máxima actividad productiva.

Análisis estadístico

Se realizaron proyecciones e identificación de tendencias utilizando técnicas de regresión lineal y media móvil para estimar el comportamiento esperado del consumo energético futuro. La comparación de indicadores de rendimiento energético se basó en métricas como kilovatios-hora por fanega de café procesado, litros de gas licuado de petróleo por kilogramo de café tostado y metros cúbicos de biomasa por fanega.

El análisis de regresión se realizó utilizando datos históricos de consumo energético del periodo 2020–2024, correspondientes a cinco años de registros disponibles y validados. Aunque el conjunto de datos es limitado en tamaño, representa las condiciones operativas de la planta y permite identificar tendencias generales de consumo. El procesamiento y análisis de datos se realizaron usando Microsoft Excel® para la consolidación inicial.

En este contexto, el modelo de regresión no pretende proporcionar predicciones a largo plazo altamente precisas, sino apoyar el análisis basado en escenarios y la planificación estratégica dentro del marco de la ISO 50001. Este enfoque es coherente con estudios diagnósticos, donde el objetivo es identificar tendencias y posibles oportunidades de mejora en lugar de desarrollar modelos predictivos de alta complejidad estadística.

Proyección hacia fases futuras

Aunque este estudio se centra exclusivamente en la fase de Plan, los resultados obtenidos servirán de base para:

Hacer: implementar medidas correctivas y formar al personal.

Comprobación: auditorías internas y verificación del rendimiento energético.

Act: acciones de mejora continua basadas en retroalimentación y resultados.

Resultados

Contexto estratégico y política energética

El análisis estratégico se llevó a cabo en dos etapas. El diagnóstico interno se desarrolló mediante entrevistas semiestructuradas con responsables, personal responsable de áreas operativas críticas y personal de producción. El análisis externo se realizó mediante la revisión documental de informes corporativos, marcos regulatorios nacionales e indicadores sectoriales de rendimiento energético.

La información recopilada se consolidó en un análisis FODA para identificar los factores internos y externos que influyen en el rendimiento energético actual de la organización. A partir de estos elementos, se formularon acciones estratégicas durante un taller participativo con el equipo directivo utilizando la metodología CAME. Estas sesiones fueron facilitadas por el equipo de investigación y documentadas mediante actas de reuniones y registros fotográficos.

La Tabla 1 presenta la síntesis integrada SWOT–COME, que vincula los factores diagnósticos con líneas estratégicas destinadas a guiar la futura implementación de un Sistema de Gestión Energética alineado con la ISO 50001:2018. Los compromisos definidos en la Política Energética se evaluaron en función de los requisitos de la norma y demuestran alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7, 9, 12 y 13.



Tabla 1. Síntesis SWOT–CAME para el diagnóstico de gestión energética.

Elemento DAFO	Acción Estratégica (CAME)
Debilidad: Ausencia de monitorización energética en tiempo real y documentación incompleta de los registros de consumo.	Correcto (C): Implementar medición en tiempo real y informes estandarizados de energía apoyados por la formación del personal en los requisitos ISO 50001.
Debilidad: Dependencia de combustibles fósiles y leña para procesos térmicos.	Correcto (C): Desarrollar una hoja de ruta de transición hacia sistemas térmicos renovables o híbridos para reducir la dependencia del combustible.
Oportunidad: Disponibilidad de incentivos financieros y programas tecnológicos que apoyen la eficiencia energética.	Adapt (A): Solicitar financiación externa para apoyar proyectos de modernización e incorporar herramientas de automatización industrial para la monitorización y el control.
Oportunidad: Creciente demanda global de productos certificados sostenibles.	Adapt (A): Fortalecer las estrategias de marketing ambiental y posicionar la certificación como una ventaja competitiva.
Fortaleza: Sistema de gestión integrado existente alineado con calidad, seguridad y rendimiento medioambiental.	Mantener (M): Integrar los indicadores de rendimiento energético en los procedimientos de gestión actuales y fortalecer la comunicación interna sobre sostenibilidad.
Fuerza: Identidad regional fuerte y compromiso social.	Mantener (M): Promover programas de sostenibilidad comunitaria y aumentar la visibilidad corporativa mediante iniciativas de responsabilidad social.
Amenaza: Volatilidad de precios de los combustibles fósiles y cambios en los requisitos regulatorios.	Explorar (E): Realizar estudios de viabilidad sobre alternativas de energía renovable y proyectos piloto de recuperación o almacenamiento de energía.
Amenaza: Variabilidad climática y riesgos de producción asociados a las cadenas de suministro del café.	Explorar (E): Desarrollar proyectos de colaboración conjunta con universidades e instituciones de investigación sobre adaptación al clima y tecnologías de producción resilientes.

Consumo histórico de energía (2020–2024)

Para estandarizar la información todos los registros se limitaron al periodo 2020–2024, que corresponde a los años con datos completos y verificables sobre electricidad, gas licuado de petróleo y biomasa (Tabla 2).

Los registros de consumo se obtuvieron de facturas de servicios, informes de producción y bases de datos internas de inventario energético, todos verificados por el departamento de certificación de la empresa.



El consumo eléctrico muestra una ligera tendencia al alza hasta 2022, seguida de un periodo de estabilización. El consumo de gas licuado de petróleo presenta una alta variabilidad, reflejando la demanda fluctuante del proceso de tueste del café. El consumo de leña se mantiene en un nivel moderado, con pequeñas reducciones atribuidas a mejoras en la eficiencia térmica.

Tabla 2. Consumo histórico de energía por fuente para el periodo 2020–2024.

Año	Electricidad (kWh)	Gas licuado de petróleo (L)	Leña (m³)	Producción (fanegas)
2020	305,800	2,672	1,402	38,000
2021	320,100	3,331	1,228	35,214
2022	358,000	2,753	1,527	40,032
2023	354,750	3,988	1,140	33,365
2024	340,200	1,762	1,240	36,579
Promedio base energético	335.770 kWh/año	2.901 L/año	1.308 m³/año	36.238 fanegas/año

Indicadores de Rendimiento Energético y Definición de la Línea Base Energética

El análisis energético del proceso productivo permitió establecer indicadores de rendimiento energético para cada una de las etapas principales del sistema, considerando el consumo de electricidad, gas licuado de petróleo y leña durante el periodo 2020–2024. Estos indicadores se calcularon de acuerdo con la metodología de la norma ISO 50001:2018, que sugiere relacionar el consumo energético con las variables de producción más representativas (fanegas, kilogramos de café procesado o área iluminada) (7).

Cálculo de indicadores de rendimiento energético

Los indicadores de rendimiento energético se obtuvieron a partir de la relación entre la energía consumida y la unidad de producción correspondiente, utilizando la Ecuación 1:

$$IDE = \frac{E_c}{P}$$

(1)

donde:

corresponde a la energía consumida en cada etapa (kilovatios-hora, litros o metros cúbicos), y

corresponde a la cantidad de producto o servicio asociado (fanegas o kilogramos de café procesado).

La información se recopiló a partir de facturas eléctricas y registros internos de consumo de combustible, verificada por el personal de mantenimiento y el medio ambiente Departamento de gestión. Los valores se consolidaron en unidades equivalentes y se estandarizaron al periodo homogéneo 2020–2024, considerando la estacionalidad de la producción de café (Tabla 3).

Estos indicadores permiten identificar los usos energéticos significativos, destacando el secado y el tueste como las etapas más intensivas en energía del proceso productivo. Este análisis constituye la base para definir medidas de eficiencia y planificar futuras auditorías energéticas.

Tabla 3. Indicadores de rendimiento energético

Área o proceso	Tipo de energía	Consumo medio anual (2020–2024)	Variable de producción	Indicador de rendimiento energético
Pulpado y fermentación	Electricidad	7.000 kWh/año	800 fanegas	8,8 kWh/fanega
Lavado y secado	Electricidad + leña	12.000 kWh + 1.200 m³/año	1.000 fanegas	0,036 m³/fanega
Tostado	Gas licuado de petróleo	3.200 L/año	42.000 kg de café tostado	0,075 L/kg
Iluminación e infraestructuras	Electricidad	4.000 kWh/año	400 m² iluminados	10 kWh/m²
HVAC y oficinas	Electricidad	3.000 kWh/año	—	18 kWh/m²

Definición de la línea base energética

La línea base energética representa el punto de referencia cuantitativo del rendimiento energético de la organización, desde el cual se pueden evaluar futuras variaciones debido a cambios en la eficiencia o en las condiciones operativas.

Según la sección 6.4 de la ISO 50001:2018 la línea base energética debe determinarse utilizando datos históricos representativos y expresarse en una unidad energética común (7). En este estudio, se definió la línea base energética en función del promedio anual del consumo total de energía durante el periodo 2020–2024, considerando los tres principales insumos energéticos utilizados en la instalación: electricidad, gas licuado de petróleo y leña.

Conversión a energía equivalente (equivalente a kilovatios-hora)

Dado que las aportaciones de energía se miden en diferentes unidades físicas (kilovatios-hora, litros y metros cúbicos), se realizó una conversión a equivalente a kilovatios-hora para permitir la comparación y agregación de los consumos.

Los factores de conversión se seleccionaron a partir de referencias técnicas reconocidas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (10, 11), y se ajustaron para reflejar la eficiencia real de uso en los procesos industriales (por ejemplo, la eficiencia de combustión de la leña). Los factores de conversión se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Factores de conversión para equivalencia energética

Fuente de energía	Unidad base	Valor calórico (MJ/unidad)	Equivalencia (kWh ecuación/unidad)	Eficiencia utilizada (η)	Referencia
Electricidad	1 kWh	—	Ecualizador de 1,00 kWh	1.00	Medición directa
Gas licuado de petróleo	1 L	25,3 MJ/L	7,03 kWh ecualizador/L	1.00	(10)
Leña seca tropical	1 m ³	6 000 MJ/m ³	1 667 kWh ecuación/m ³	0,20 – 0,25 (uso efectivo)	(11)

Para la leña, el factor de conversión se redujo aplicando la eficiencia térmica media del proceso de secado (aproximadamente un 20–25%), de modo que la contribución energética útil sea comparable a la de la electricidad o el gas licuado de petróleo usados en procesos equivalentes.

Metodología de cálculo

El consumo energético anual total se calculó según la metodología propuesta por la ISO 50006:2014, adaptando los factores de conversión de las directrices del Departamento de Energía de los Estados Unidos y del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (10, 11), según la Ecuación 2:

$$E_{total,eq} = E_{el} + (V_{GLP} \cdot 7.03) + (V_l \cdot 1667 \cdot \eta)$$

(2)

donde:

- consumo eléctrico (kWh),
- volumen anual de gas licuado de petróleo (L),
- volumen anual de leña (m³),
- eficiencia de combustión de leña (0,20–0,25).

Los valores resultantes se expresaron en equivalentes en kilovatios-hora para cada año en el periodo 2020–2024.

Finalmente, la línea base energética se definió como la media del consumo energético anual total equivalente para el periodo 2020–2024, siguiendo las directrices de ISO 50001:2018 e ISO 50006:2014, como se muestra en la Ecuación 3. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

$$LBE = \frac{\sum_{i=2020}^{2024} E_{total,eq,i}}{n}$$

(3)



Tabla 5. Consumo total equivalente de energía por año

Año	Electricidad (kWh)	Gas licuado de petróleo (L)	Leña (m³)	Energía equivalente total (kWh ecuación)
2020	305,800	2,672	1,402	320,600
2021	320,100	3,331	1,228	333,400
2022	358,000	2,753	1,527	349,900
2023	354,750	3,988	1,140	361,500
2024	340,200	1,762	1,240	356,000
Promedio (línea base energética)	—	—	—	344.200 kWh eq/año

Se adopta el valor de 344.200 kWh eq/año como referencia energética de la organización. Este valor se suavizó mediante una media móvil simple para reducir la variabilidad estacional asociada al ciclo de cosecha del café.

Este procedimiento garantiza la trazabilidad y la coherencia con las normas ISO 50001 e ISO 50006, proporcionando una base sólida para evaluar el impacto de futuras acciones de eficiencia energética.

El análisis revela una ligera tendencia al aumento en el consumo total de energía, principalmente atribuible al incremento de la demanda de electricidad y gas licuado de petróleo durante 2022–2023.

La contribución relativa a la línea base energética es aproximadamente el 88 por ciento de electricidad, un 8 por ciento de gas licuado de petróleo y un 4 por ciento de leña (energía útil). Estos resultados ayudan a priorizar acciones de eficiencia energética en los procesos de secado, tueste e iluminación, que representan el mayor potencial de reducción.

Cumplimiento inicial de la norma ISO 50001

Se aplicó un cuestionario diagnóstico basado en los capítulos relevantes de la norma ISO 50001:2018 (capítulos 4 a 10) al personal técnico y de gestión, complementado con una revisión documental. El nivel general de cumplimiento (aproximadamente el 28 por ciento) indica que la organización sigue en la fase de planificación del ciclo de mejora continua, reflejando un progreso parcial hacia la estructuración del sistema de gestión energética. Se identificaron las principales lagunas en los requisitos de planificación, apoyo, evaluación del desempeño y mejora continua.

El porcentaje global de cumplimiento ISO 50001 se calculó como la media aritmética de las puntuaciones de cumplimiento obtenidas para los siete capítulos evaluados de la norma (capítulos 4 a 10). Cada capítulo fue evaluado utilizando una escala porcentual cualitativa que va del 0 al 100 por ciento, donde 0 por ciento indica ausencia de evidencia de cumplimiento y 100 por ciento representa la implementación completa de los requisitos correspondientes. Los valores intermedios se asignaron en función de la disponibilidad de evidencia documentada, el grado de implementación operativa y la alineación con las directrices ISO 50001:2018. Todos los capítulos fueron considerados con la misma ponderación, ya que el objetivo de este estudio era realizar una evaluación diagnóstica inicial en lugar de una auditoría de certificación.



Validación de instrumentos

El cuestionario diagnóstico fue validado mediante el juicio de un experto y una prueba piloto. El proceso de validación involucró a tres especialistas en gestión energética y sistemas de calidad, que evaluaron la claridad, relevancia y alineación de los diez ítems correspondientes a los capítulos de ISO 50001:2018, logrando una concordancia superior al 85 por ciento. Posteriormente, se realizó una prueba piloto en enero de 2024 con un pequeño grupo de personal técnico, que permitió ajustes en la redacción de los ítems y aseguró la validez del contenido antes de la aplicación final.

El porcentaje de cumplimiento por capítulo se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Radar de cumplimiento ISO 50001

Capítulo ISO 50001		Principales evidencias
4. Contexto	40 %	Organigrama, descripción del proceso
5. Liderazgo	35 %	Revisión de la política y gestión energética
6. Planificación	25 %	Falta de una revisión energética formal
7. Apoyo	22 %	Falta de instrumentos y formación
8. Funcionamiento	41 %	Procedimientos parcialmente documentados
9. Evaluación del desempeño	20 %	No hay auditorías energéticas
10. Mejora	15 %	No hay registros de acciones correctivas

Distribución del consumo eléctrico por área (2023)

El análisis de la distribución del consumo eléctrico por área es un paso fundamental dentro de la fase de diagnóstico establecida por la norma ISO 50001, ya que permite identificar consumos energéticos significativos y definir prioridades de intervención. Evaluar la distribución del consumo a partir de 2023 se consideró estratégico, ya que este periodo representó una operación productiva estable tras la pandemia, con registros energéticos más consistentes y procesos totalmente activos en todas las líneas de producción. Durante las visitas técnicas a la instalación se realizó una inspección detallada de la carga eléctrica instalada en cada etapa del proceso, incluyendo pulpado, fermentación, lavado, secado, tueste, iluminación, así como sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Esta información se complementaba con entrevistas al personal operativo, revisión parcial de facturas de servicios y observación directa de las operaciones diarias. Los datos recogidos permitieron estimar la distribución mensual y diaria del consumo eléctrico por etapa de proceso. Los valores detallados se presentan en la Tabla 7, mientras que la Figura 3

ilustra la contribución proporcional de cada área a la demanda total de electricidad, facilitando la identificación de consumos energéticos significativos bajo un enfoque ISO 50001.

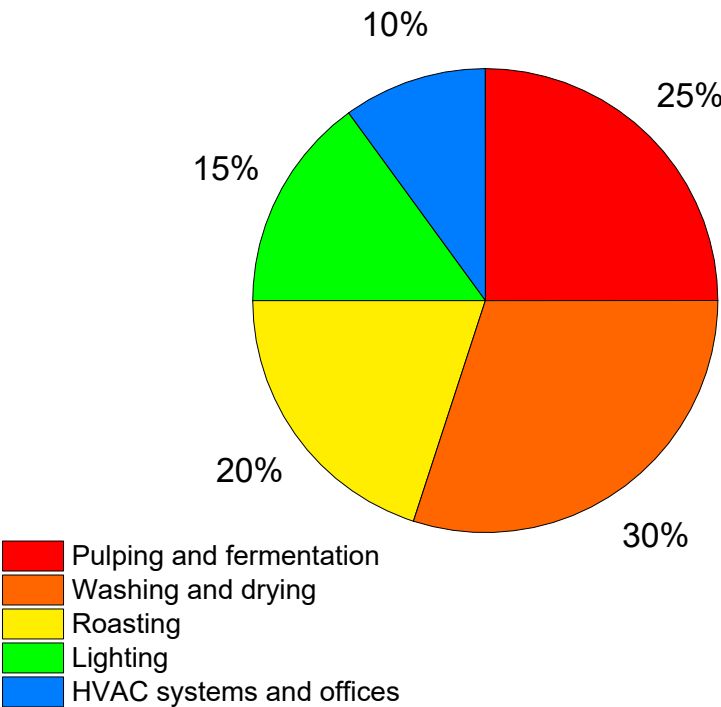


Figura 3. Distribución porcentual del consumo eléctrico por área en 2023

Tabla 7. Distribución del consumo eléctrico por área de proceso en 2023.

Área	KWh/mes estimado	KWh/día estimado
Pulpado y fermentación	7,096.5	236.55
Lavado y secado	8,515.8	283.86
Tostado	5,677.2	189.24
Iluminación	4,257.9	141.93
Sistemas HVAC y oficinas	2,838.6	94.62
Total	28,386	946.2

Los resultados muestran que aproximadamente el 50 por ciento del consumo total de electricidad se concentra en los procesos de lavado, secado y tueste, que implican el mayor uso de equipos térmicos y motores eléctricos de alta potencia. Esta concentración de demanda energética confirma la necesidad de considerar estas áreas como usos energéticos significativos dentro del futuro sistema de gestión energética, orientando las estrategias de mejora hacia la optimización de motores, la recuperación de calor y la automatización de los controles térmicos.

Además, disponer de una línea base desagregada del consumo energético por área facilita la comparación interanual, el cálculo de indicadores específicos de rendimiento energético (kilovatios-hora/unidad procesada) y el seguimiento de la efectividad de las medidas de eficiencia implementadas como resultado de este diagnóstico.

Proyecciones energéticas para el periodo 2025–2027

El análisis prospectivo del consumo energético constituye una herramienta esencial dentro del marco de gestión energética establecido por la ISO 50001:2018, ya que permite anticipar tendencias de demanda, planificar inversiones y estimar el impacto de las medidas de eficiencia. La proyección de la demanda energética proporciona una visión cuantitativa del comportamiento esperado de los recursos energéticos bajo diferentes escenarios y sirve como base para definir los objetivos futuros del sistema de gestión energética y actualizar la línea base energética (7, 12).

Como se describe en la Sección 2.5, el modelo de regresión se desarrolló a partir de datos históricos de 2020 a 2024. Para estimar la evolución del consumo energético durante el periodo 2025–2027, se aplicaron modelos de regresión lineal a los datos históricos unificados de 2020–2024. Se desarrollaron tres escenarios contrastantes para evaluar diferentes niveles de intervención en eficiencia energética:

1. Escenario conservador: asume un crecimiento anual moderado del 3 por ciento, manteniendo las condiciones operativas actuales.
2. Escenario de tendencia: refleja la proyección lineal de las tendencias históricas de 2020 a 2024, sin la aplicación de medidas de eficiencia.
3. Escenario de eficiencia: incorpora una reducción anual progresiva del 5 por ciento, considerando la sustitución de la iluminación, el control del motor eléctrico y una mejora del aislamiento térmico durante el secado del café.

El modelo de regresión utilizado para la proyección de la demanda energética se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2), que mostró un nivel aceptable de ajuste, indicando que el modelo captura adecuadamente la tendencia general del consumo energético a lo largo del tiempo.

Dada la naturaleza diagnóstica de este estudio, el modelo no estaba destinado a la optimización predictiva, sino al análisis basado en escenarios. Por lo tanto, se consideran adecuadas para apoyar la toma de decisiones estratégicas e identificar posibles mejoras en eficiencia energética, más que para previsiones de alta precisión.

Estas proyecciones se basan en la ecuación general de tendencia lineal 4:

$$E_t = E_{2024} + (t - 2024) \cdot \Delta E \quad (4)$$

donde E_t es el consumo energético proyectado para el año t , y ΔE representa el cambio anual medio calculado desde el periodo base (2020–2024).

Los resultados consolidados de las proyecciones para los tres principales recursos energéticos se presentan en la Tabla 8, mientras que la Figura 6 ilustra su comportamiento esperado bajo diferentes escenarios de gestión energética para el periodo 2024–2027.

Las proyecciones indican que, si se mantienen las condiciones actuales de funcionamiento (escenario tendencial), se espera que el consumo total de energía aumente entre un 18 y un 22 por ciento para 2027, principalmente debido al aumento de la demanda eléctrica en los procesos de secado y tostado.

En contraste, bajo el escenario de eficiencia, que considera una reducción sistemática anual del 5 por ciento, el consumo total podría disminuir aproximadamente un 13 por ciento en comparación con el nivel base de 2024. Esta reducción representaría una disminución aproximada de 45.000 kWh/año, equivalente a una mitigación estimada de unas ≈ 16 toneladas de CO₂ equivalente al año, considerando un factor medio de emisión de 0,36 kg de CO₂/kWh (13). Este resultado pone de manifiesto la relación directa entre las medidas de eficiencia energética y la reducción del impacto medioambiental, reforzando el papel de la gestión energética como estrategia clave para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en los procesos agroindustriales.

Tabla 8. Escenarios de proyección energética para el periodo 2025–2027

Fuente de energía	Actual 2024	Conservador 2027	Tendencia 2027	Eficiencia 2027
Electricidad (kWh/año)	340,200	350,000	410,000	295,000
Gas licuado de petróleo (L/año)	1,762	2,000	2,400	1,500
Leña (m³/año)	1,240	1,250	1,350	1,100

Por lo tanto, el escenario de eficiencia se alinea no solo con los principios de mejora continua promovidos por la ISO 50001, sino también con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7, 9 y 13, promoviendo un uso responsable de la energía y reduciendo las emisiones asociadas a la matriz energética.

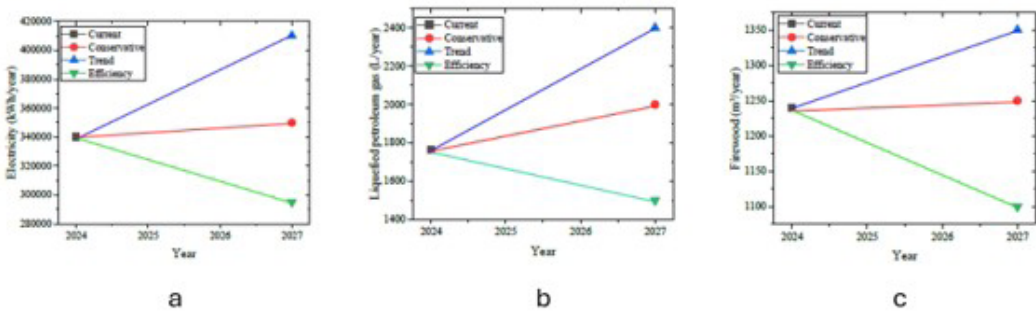


Figura 6. Proyecciones de consumo energético en tres escenarios para el periodo 2024–2027: (a) electricidad (kWh/año), (b) gas licuado de petróleo (L/año) y (c) leña (m³/año). El escenario de tendencia indica un aumento esperado de la demanda energética, especialmente debido a procesos térmicos y mecánicos, mientras que el escenario de eficiencia sugiere una reducción progresiva asociada a la implementación de medidas sistemáticas de gestión energética alineadas con la ISO 50001.

Discusión

Interpretación de los resultados y comparación con estudios previos

Los resultados diagnósticos muestran que los usos energéticos significativos se concentran en procesos térmicos como el secado y el tostado, y que la electricidad domina la demanda energética anual (aproximadamente el 88 por ciento), con el gas licuado de petróleo y la leña que contribuyen menormente. Este patrón es coherente con la evidencia sectorial de las industrias alimentaria y de bebidas, donde la demanda de calor de proceso (calor sensible y latente) junto con equipos auxiliares eléctricos (molienda, ventilación, transporte y control) explica la mayor parte del consumo. De hecho, para la industria alimentaria, se ha propuesto una taxonomía de usos finales para mapear procesos, servicios energéticos e indicadores, lo que facilita la priorización de medidas de eficiencia en línea con altas cargas térmicas como el secado o el tostado (14).

Más allá de los resultados específicos obtenidos para la agroindustria del café, el valor ingeniero de este estudio reside en la integración de diagnósticos energéticos, indicadores de rendimiento y proyecciones prospectivas en un único marco analítico. Este enfoque transforma datos energéticos descriptivos en información de ingeniería accionable, permitiendo la priorización sistemática de los usos energéticos significativos y apoyando el diseño de estrategias de eficiencia técnicamente viables.

La línea base energética establecida (344.200 kWh eq/año) y los indicadores de rendimiento energético siguen las recomendaciones de la ISO 50006, que propone vincular los indicadores de rendimiento energético con variables relevantes del proceso y documentar su trazabilidad para el seguimiento y verificación de mejoras. En este sentido, el uso explícito de unidades equivalentes y la normalización de indicadores de rendimiento energético permiten comparar periodos con diferentes mezclas de combustibles y condiciones operativas, algo esencial en agroindustrias con marcada estacionalidad (12).

En cuanto al potencial de mejora, nuestra proyección conservadora de una reducción del 10% al 15% en tres años se alinea con los rangos reportados para la primera iteración del ciclo PDCA en sistemas de gestión energética. Compilaciones de estudios de caso de la ISO 50001 (sectores manufacturero y alimentario) en iniciativas como Better Buildings y estudios de empresas multinacionales (por ejemplo, 3M) documentan ahorros sostenidos desde los altos dígitos simples hasta los bajos de dos dígitos tras la implementación sistemática del sistema de gestión energética y auditorías internas. Esto respalda la plausibilidad de objetivos del 10% al 15% cuando va acompañado de una hoja de ruta clara y prácticas adecuadas de medición y verificación (15, 16).

Metodológicamente, los cálculos y análisis realizados en medición, indicadores y mejora continua son coherentes con la evolución del estándar: desde la revisión de 2018, la ISO 50001 y la guía ISO 50006 enfatizan una arquitectura robusta de indicadores de rendimiento energético y su integración con herramientas de gestión para cerrar brechas de rendimiento. La literatura reciente también muestra que las sinergias con enfoques de excelencia operativa—como Lean Six Sigma—pueden acelerar la identificación de pérdidas de energía y estandarizar los controles de proceso, aumentando así la eficacia del sistema de gestión energética en entornos industriales (4).

En cuanto al sector del café, estudios recientes exploran estrategias complementarias para descarbonizar el tueste y los procesos asociados—por ejemplo, la optimización basada en el costeo centrado en actividades con un enfoque en las emisiones según el perfil de tueste y la integración del almacenamiento de energía térmica para plantas de café instantáneo (17, 18). Aunque estos enfoques difieren de un sistema de gestión energética, refuerzan dos mensajes que son directamente útiles en este caso:

La gestión energética debe estar estrechamente alineada con el diseño del proceso (recetas, perfiles térmicos y la mezcla combustible-electricidad). La electrificación y la recuperación y almacenamiento de calor abren márgenes adicionales para reducir el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono. Estas líneas de evidencia justifican la priorización del secado y el tueste como usos energéticos significativos y sugieren caminos tecnológicos concretos para las futuras fases del plan.

En lo que respecta a las pequeñas y medianas empresas agroindustriales, las barreras típicas — como la capacidad técnica limitada, los datos fragmentados y las limitaciones de capital para las mejoras tecnológicas— condicionan el ritmo de la mejora. No obstante, informes recientes sobre eficiencia energética en pequeñas y medianas empresas indican que los marcos explícitos para la gobernanza de los datos energéticos y la toma de decisiones basados en indicadores transparentes de rendimiento energético mejoran la adopción de medidas y su persistencia a lo largo del tiempo, en línea con la arquitectura propuesta por este diagnóstico (19).

Limitaciones e implicaciones

Este estudio se limita a la fase de diagnóstico (Plan), lo que significa que los ahorros proyectados son estimaciones y dependen de una implementación efectiva (Do–Check–Act) y de la calidad de las prácticas de medición. Además, la conversión de biomasa (leña) en equivalente kilovatios-hora introduce incertidumbre debido a la variabilidad en el valor calórico y la eficiencia. Esta incertidumbre se mitiga mediante el uso de factores conservadores, aunque la literatura recomienda complementar este enfoque con mediciones in situ y balances térmicos en etapas críticas del proceso. No obstante, este estudio de caso ofrece:

- Indicadores de rendimiento energético normalizados y una línea base energética reproducible conforme a ISO 50006,
- Una clara priorización de los usos energéticos significativos en los procesos de café térmico, y
- Una vía cuantificada con objetivos de ahorro realistas y verificables, alineada con las transiciones tecnológicas ya exploradas en el sector (electrificación y almacenamiento térmico) (14, 18).

Sin embargo, la ausencia de una implementación completa no reduce la validez de ingeniería del marco diagnóstico propuesto. Por el contrario, la metodología está diseñada intencionadamente para apoyar la toma de decisiones técnicas antes de intervenciones intensivas en capital, reduciendo la incertidumbre y mejorando la eficacia de las etapas posteriores de implementación.

Implicaciones prácticas y en política energética

Los resultados del diagnóstico energético en la agroindustria del café ofrecen implicaciones prácticas relevantes para el diseño e implementación de sistemas de gestión energética en pequeñas y medianas empresas agroalimentarias de América Latina. En primer lugar, la estructura metodológica basada en la ISO 50001:2018 demuestra su replicabilidad en contextos de producción dominados por procesos térmicos como secado, tueste o pasteurización, siempre que los indicadores de rendimiento energético se adapten a variables locales como la estacionalidad o el tipo de combustible. Esto es coherente con las experiencias documentadas que muestran la viabilidad del enfoque Plan–Do–Check–Act incluso en instalaciones con infraestructura básica, siempre que se priorice la medición, la formación del personal y la conciencia operativa (15, 16).

Desde una perspectiva industrial y operativa, los hallazgos permiten establecer una hoja de ruta interna de eficiencia energética a corto y medio plazo. El cálculo de la línea base energética y la priorización del uso significativo de energía constituyen herramientas que permiten a las empresas definir objetivos verificables, justificar inversiones en mejoras tecnológicas (como la electrificación o sistemas de recuperación de calor) y apoyar planes de acción dentro de un marco de mejora continua. En este sentido, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en México ha informado de que la aplicación de los sistemas ISO 50001 contribuye a un ahorro sostenido del 5 al 20 por ciento en los sectores manufacturero y de servicios, reforzando la relevancia de implementar estos mecanismos en las agroindustrias regionales (20).

A nivel de políticas públicas y programas sectoriales, la replicabilidad de este tipo de diagnóstico energético está directamente alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7, 9, 12 y 13, que promueven el uso responsable de la energía, la innovación tecnológica y la mitigación del cambio climático. La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Uso Sostenible de la Energía en México (21) y las directrices regionales de la Comunidad de Estados Latinoamericanos y del Caribe (22) Sugieren que las políticas energéticas deberían incluir incentivos fiscales, acceso a financiación verde y esquemas voluntarios de certificación para pequeñas y medianas empresas que adopten sistemas de gestión energética, facilitando su adopción en sectores agroindustriales de baja tecnología.

Además de los beneficios operativos y económicos, la reducción proyectada en el consumo energético está directamente asociada a una disminución medible de las emisiones equivalentes de CO₂. Esto refuerza el papel de los sistemas de gestión energética no solo como herramientas para mejorar la eficiencia, sino también como mecanismos estratégicos para reducir la huella ambiental de las actividades agroindustriales. En este contexto, la integración de indicadores de rendimiento energético con métricas de impacto ambiental fortalece los procesos de toma de decisiones alineados con los objetivos de sostenibilidad.

Finalmente, los resultados también identifican oportunidades de cooperación interinstitucional entre universidades, organismos gubernamentales y empresas, especialmente en lo que respecta a la formación y certificación de gestores energéticos. La creación de redes de aprendizaje sobre eficiencia energética—como las promovidas en Europa y replicadas por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial en América Latina—podría acelerar la difusión de modelos basados en la ISO 50001 en las cadenas de valor agroalimentarias. En conjunto, estas acciones fortalecen un enfoque integrado de la gestión energética, la sostenibilidad y la

competitividad, mejorando tanto la resiliencia productiva como la descarbonización en el sector primario latinoamericano.

Conclusiones

El diagnóstico energético realizado en la empresa procesadora de café proporcionó una comprensión integral del rendimiento energético actual y de las oportunidades de mejora dentro del marco de la ISO 50001:2018. Los resultados muestran que los usos energéticos significativos, especialmente en las etapas de secado y tostado, representan más del 50% del consumo total de electricidad, lo que las convierte en áreas prioritarias para la implementación de medidas de eficiencia.

Se definieron indicadores normalizados de rendimiento energético y se estableció una línea base energética anual media de 344.200 kWh eq/año, que servirá como punto de referencia para el seguimiento y evaluación del consumo futuro. El nivel inicial de cumplimiento con la ISO 50001 fue aproximadamente del 28%, situando a la organización en la fase de Plan del ciclo PDCA, con fortalezas en liderazgo y control de documentación, pero con oportunidades de mejora en la planificación, funciones de apoyo y evaluación del rendimiento.

Según los resultados obtenidos, la implementación completa del sistema de gestión energética podría reducir la intensidad energética entre un 10% y un 15% en los próximos tres años. Esto supondría un ahorro aproximado de 45.000 kWh/año y una reducción de casi 16 toneladas de CO₂ equivalente anualmente, considerando un factor de emisión de 0.36 kg CO₂/kWh.

Una limitación clave del estudio es que el análisis se centró exclusivamente en la fase diagnóstica y se basó en registros históricos de consumo, cuya precisión depende de los sistemas internos de medición. Sin embargo, los hallazgos constituyen una base sólida para planificar auditorías energéticas y acciones correctivas dentro del ciclo Do–Check–Act como parte de la mejora continua.

Por último, se recomienda avanzar hacia la automatización de la monitorización energética, la sustitución progresiva de combustibles fósiles por alternativas renovables y la formación del personal en eficiencia energética. El modelo metodológico desarrollado en este estudio puede replicarse en otros sectores agroindustriales latinoamericanos, fortaleciendo la competitividad y contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7, 9, 12 y 13 mediante la transición hacia una gestión energética sostenible y resiliente.

Además, el enfoque propuesto contribuye no solo a mejorar la eficiencia energética, sino también a reducir el impacto ambiental del proceso productivo, especialmente mediante la mitigación de emisiones equivalentes de CO₂, apoyando la transición hacia sistemas agroindustriales más sostenibles y resilientes.

Declaración del Comité de Revisión Institucional: No aplicable

Declaración de consentimiento informado: No aplicable

Declaración de disponibilidad de datos: No aplicable

Agradecimientos: No aplicable

Conflictos de interés: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

Declaración de contribución de autoría de CreditT

Conceptualización - Ideas: Juan José Zelaya-Zeledón, Alonso Vargas-Vargas, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Curación de datos:** Alonso Vargas-Vargas, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Análisis formal:** René Fernando Domínguez-Cruz. **Investigación:** René Fernando Domínguez Cruz, Yadira Aracely Fuentes Rubio. **Metodología:** Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Dirección de Proyecto:** Juan José Zelaya-Zeledón, Alonso Vargas-Vargas, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Recursos:** Alonso Vargas-Vargas. **Software:** René Fernando Domínguez-Cruz, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Supervisión:** René Fernando Domínguez-Cruz, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Validación:** René Fernando Domínguez-Cruz, Yadira, Aracely Fuentes-Rubio, Juan José Zelaya-Zeledón, Alonso Vargas-Vargas. **Redacción - borrador original - Elaboración:** René Fernando Domínguez-Cruz, Yadira Aracely Fuentes-Rubio. **Redacción - revisión y edición -Elaboración:** René Fernando Domínguez-Cruz, Yadira Aracely Fuentes-Rubio.

Financiación: no declara. Conflicto de intereses: no declara. Aspecto ético: no declara.

References

1. Pandin M, Sumaedi S, Yaman A, Ayundyahrini M, Supriatna NK, Hesty NW. ISO 50001 based energy management system: a bibliometric perspective. Int J Energy Sect Ma. 2024;18(6):1938-63. doi: 10.1108/Ijesm-08-2023-0001.

<https://doi.org/10.1108/IJESM-08-2023-0001>

2. Alotaibi S, Alogaili H, Alawwad K, Aljarallah S. The Environmental and Business Benefits of Implementing the ISO 50001 Energy Management System in Government Buildings: A Case Study of the Saudi Standards, Metrology and Quality Organization (SASO). 2025;17(11):5131.

<https://doi.org/10.3390/su17115131>

3. Fuchs H, Therkelsen P, Miller WC, Siciliano G, Sheaffer P. ISO 50001-Based Energy Management Systems as a Practical Path for Decarbonization: Initial Findings from a Survey of Technical Assistance Cohort Participants. 2023;16(14):5441.

<https://doi.org/10.3390/en16145441>

4. Trubetskaya A, McDermott O, McGovern S. Implementation of an ISO 50001 energy management system using Lean Six Sigma in an Irish dairy: a case study. The TQM Journal. 2023;35(9):1-24. doi: 10.1108/TQM-08-2022-0252 %J The TQM Journal.

<https://doi.org/10.1108/TQM-08-2022-0252>

5. Arabeyyat OS, Ragha LA. The use of energy management ISO 50001 to increase the effectiveness of water treatment plants: An application study on the Zai water treatment plant. MethodsX. 2024;12:102661. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102661>.

<https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102661>

6. Stephen MS, Valsalan SA. Energy efficiency and ISO 50001:2018 implementation in seafood processing industries: A comprehensive analysis and strategic framework. *Clean Energy Syst.* 2025;10:100173. doi: 10.1016/j.cles.2025.100173.
<https://doi.org/10.1016/j.cles.2025.100173>
7. International Organization for Standardization. ISO 50001:2018. Energy management systems - Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland 2018.
<https://www.iso.org/standard/69426.html>
8. Yin Robert K. Case study research and applications: Design and Methods. Sixth Edition. United Kingdom: SAGE Publications, Inc.; 2017.
https://www.google.com.mx/books/edition/Case_Study_Research_and_Applications/6DwmDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
9. Vega MAV, Peña DR. Procedimiento para la identificación de los factores internos y externos que definen el contexto de la organización según norma ISO 50001. *Opuntia Brava.* 2022;14(3):344-58.
<https://research.ebsco.com/plink/6abd578c-a276-3d6f-8698-642669a0a279>
10. U.S. Department of Energy: Energy performance baseline guide. (2021)
<https://www.directives.doe.gov/directives-documents/400-series/0413.3-EGuide-05-chg1-admchg/@@images/file>
11. IPCC: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (2006).
<https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
12. International Organization for Standardization: ISO 50006:2023. Energy management systems — Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines. (2023)
<https://www.iso.org/standard/79367.html>
13. IEA: CO2 Emissions in 2023.
<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
14. Kanchiralla FM, Jalo N, Thollander P, Andersson M, Johnsson S. Energy use categorization with performance indicators for the food industry and a conceptual energy planning framework. *Applied Energy.* 2021;304:117788.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117788>
15. Clean Energy Ministerial: ISO 50001 Energy Management System - Case Study 3M Company. (2022).
<https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/09/cem-em-casestudy-3m-global.pdf>

16. Clean Energy Ministerial: Energy Management Case Studies | Better Buildings Initiative. (2022)

<https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/09/cem-em-casestudy-3m-global.pdf>

17. Tsai W-H, Lee K-H, Huang C-C. Energy Efficiency and Carbon Emission Reduction in Coffee Roasting: Approach of Activity-Based Costing (ABC) Methodology. 2025;18(5):1018.

<https://doi.org/10.3390/en18051018>

18. Olmedilla Ishishi H, Laukkanen T, Syri S. Energy assessment of the integration of seasonal thermal energy storage in an instant coffee production plant. Case Studies in Thermal Engineering. 2025;75:107238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.107238>.

<https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.107238>

19. Gennitsaris S, Oliveira MC, Vris G, Bofilios A, Ntinou T, Frutuoso AR, et al. Energy Efficiency Management in Small and Medium-Sized Enterprises: Current Situation, Case Studies and Best Practices. 2023;15(4):3727.

<https://doi.org/10.3390/su15043727>

20. CONUEE: Informe Anual de Avances en Eficiencia Energética 2023.

<https://www.gob.mx/conuee/documentos/informe-de-actividades-de-la-conuee-2023>

21. SENER: Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2020-2030. (2020)

<https://www.gob.mx/sener/documentos/estrategia-nacional-de-transicion-energetica-y-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia>

22. CELAC: Plan de Acción Regional para la Transición Energética Justa y Sostenible 2022-2030. (2022)

<https://www.cepal.org/es/enfoques/integracion-energetica-transicion-justa-america-latina-caribe-oportunidades-desafios-2050>

