

**Estudio de viabilidad para la sustitución de energías convencionales por energías renovables en el proceso de producción de ladrillos artesanales en una ladrillera tradicional en La Cruz, Nariño**

Tania Vanessa Bravo Meneses

Asesor

Mg. Mario Andrés Ibarra Ortiz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

2026

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, fuente de fortaleza, sabiduría y guía en cada paso de mi camino. Por brindarme las capacidades económicas e intelectuales para formarme como profesional sin su presencia constante, no habría sido posible culminar este proyecto con éxito.

A mis hijos, porque en ellos encontré la fuerza y el amor que puede atravesar miedos y obstáculos, por ser mi motivación diaria para mejorar como persona, como profesional y como madre.

A mis padres y hermanos, quienes con su ejemplo de esfuerzo y compromiso me han motivado a dar siempre lo mejor de mí, por su compañía y ánimo constante durante este proceso.

A mi familia, por ser mi mayor inspiración, por su apoyo incondicional y por enseñarme que la perseverancia y la disciplina son las herramientas más valiosas para alcanzar los sueños.

A mis docentes y asesores, quienes con su orientación y conocimiento han contribuido de manera invaluable en la construcción de este trabajo. Su exigencia académica y sus aportes críticos fueron determinantes para fortalecer mi formación profesional y personal.

Finalmente, dedico este logro a la comunidad de La Cruz, Nariño, en especial a quienes hacen parte del sector ladrillero artesanal. Este proyecto busca aportar, desde la academia, un grano de arena en el camino hacia la sostenibilidad y el progreso colectivo, con la esperanza de que el esfuerzo realizado se traduzca en mejores oportunidades para la región y sus habitantes.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar este proyecto, que representa no solo un logro académico, sino también personal. A mi familia, por ser el soporte fundamental en este proceso. Gracias a mis padres por su amor, confianza y apoyo incondicional, que me motivaron a no rendirme ante las dificultades.

Extiendo un especial agradecimiento a mis docentes y asesores, quienes con sus orientaciones, sugerencias y aportes críticos enriquecieron este trabajo, guiándome hacia la mejora continua y permitiendo que el proyecto alcanzara un nivel más sólido y riguroso.

A la comunidad de La Cruz, Nariño, y particularmente a los trabajadores de la ladrillera artesanal, por abrirme las puertas, compartir sus experiencias y permitir que este proyecto se construyera desde la realidad del territorio. Su colaboración y disposición fueron indispensables para llevar a cabo este estudio aplicado.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que de una u otra manera contribuyeron con sus conocimientos, recursos y apoyo logístico. Cada aporte fue valioso y dejó huella en el desarrollo y consolidación de este trabajo.

## Resumen

Este proyecto propone la sustitución de energías convencionales por energías renovables en el proceso de producción de ladrillos artesanales en una ladrillera tradicional ubicada en el corregimiento La Estancia, zona rural del municipio de La Cruz, departamento de Nariño. Su objetivo general es optimizar la producción, reducir costos y tiempos de elaboración, y avanzar hacia prácticas más limpias y sostenibles, alineadas con los principios de responsabilidad ambiental. En primer lugar, se diagnosticó el estado actual de los procesos operativos, la infraestructura y el consumo energético en la ladrillera, identificando diversas oportunidades de mejora. Entre los hallazgos más relevantes se destacan el uso intensivo de leña como combustible, procesos manuales poco eficientes, y una infraestructura limitada que restringe la producción y genera impactos ambientales considerables.

Posteriormente, se evaluó el impacto ambiental de las prácticas productivas actuales, evidenciando una alta emisión de gases contaminantes, consumo excesivo de agua y una inadecuada gestión de residuos. A partir de esta evaluación, se formularon estrategias para reducir el uso de combustibles fósiles, optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico y establecer acciones orientadas a la minimización de residuos sólidos y emisiones.

Finalmente, se diseñaron e implementaron acciones sostenibles que permiten sustituir parcialmente las fuentes energéticas contaminantes. Estas incluyen la introducción de biomasa forestal como alternativa a la leña, la automatización de algunos procesos clave y la mejora en la infraestructura para favorecer un funcionamiento más eficiente y seguro. Como resultado, se obtuvo una reducción significativa en el impacto ambiental, una mejora en las condiciones laborales y un aumento en la eficiencia del proceso productivo.

**Palabras clave:** ladrilleras artesanales, energías renovables, sostenibilidad, recursos naturales, producción limpia.

## Abstract

This project proposes the replacement of conventional energy sources with renewable energies in the production process of handmade bricks in a traditional brick factory located in the rural area of La Estancia, La Cruz municipality, Nariño department. The general objective is to optimize production, reduce costs and manufacturing times, and transition towards cleaner and more sustainable practices aligned with environmental responsibility principles.

First, a diagnostic was carried out to assess the current state of operational processes, infrastructure, and energy consumption. Several improvement opportunities were identified, including the intensive use of firewood as fuel, inefficient manual processes, and limited infrastructure that hinders production and contributes to environmental degradation.

Subsequently, the environmental impact of current production practices was evaluated, revealing high emissions of pollutants, excessive water use, and inadequate waste management. Based on this assessment, strategies were proposed to reduce fossil fuel usage, optimize water resource utilization, and implement actions to minimize solid waste and emissions.

Finally, sustainable actions were designed and implemented to partially replace polluting energy sources. These include the introduction of forest biomass as an alternative to firewood, automation of key processes, and improvements in infrastructure to promote more efficient and safer operations. As a result, the project achieved a significant reduction in environmental impact, improved working conditions, and increased production efficiency.

**Keywords:** artisanal brickyards, renewable energy, sustainability, natural resources, clean production.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
Planteamiento del problema .....	12
Justificación.....	14
Objetivos .....	16
<i>Objetivo general</i> .....	16
<i>Objetivos específicos</i> .....	16
Marco contextual.....	17
<i>Información general</i> .....	17
<i>Marco conceptual y teórico</i> .....	19
Impactos ambientales asociados a la producción artesanal .....	19
Contaminación de suelo, agua y paisaje .....	20
Impacto en salud y condiciones laborales.....	21
Viabilidad técnica y ambiental.....	21
Energías convencionales versus energías renovables .....	21
Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	22
Producción de ladrillos artesanales en Colombia .....	23
<i>Marco Normativo</i> .....	24
Metodología .....	28
<i>Diagnóstico técnico-operativo y energético</i> .....	29
<i>Evaluación del impacto ambiental y formulación de estrategias de mitigación</i> .....	30
<i>Diseño e implementación de acciones sostenibles</i> .....	31
<i>Cronograma de adaptación tecnológica</i> .....	32
<i>Estimación de costos y beneficios</i> .....	32
<i>Instrumentos aplicados en el diagnóstico técnico-operativo</i> .....	35

<i>Levantamiento planimétrico.</i> .....	40
<i>Desmenuzado, homogeneización y moldeado</i> .....	46
<i>Cocción del ladrillo</i> .....	52
Evaluación de la infraestructura y el entorno .....	54
<i>Implementación de canaletas para la recolección de aguas lluvias destinadas al proceso de homogeneización</i> .....	56
<i>Evaluación del impacto ambiental y formulación de estrategias de mejora</i> .....	59
<i>Análisis del ciclo de vida y evaluación del desempeño ambiental.</i> .....	64
<i>Implementación de herramientas normativas y de gestión ambiental</i> .....	66
<i>Sustitución de fuentes energéticas contaminantes</i> .....	69
<i>Construcción de infraestructura más eficiente</i> .....	71
<i>Cronograma de implementación (propuesto)</i> .....	73
<i>Evaluación de las acciones sostenibles implementadas.</i> .....	75
Conclusiones .....	84
Recomendaciones .....	86
Referencias.....	89

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Instrumentos utilizados en la fase diagnóstica</i> .....	34
<b>Tabla 2</b> <i>Lista de chequeo 1. Infraestructura y condiciones generales</i> .....	36
<b>Tabla 3</b> .....	38
<b>Tabla 4</b> <i>Lista de chequeo 4. Gestión ambiental y residuos</i> .....	39
<b>Tabla 5</b> <i>Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en la recolección y traslado del barro</i> .....	42
<b>Tabla 6</b> <i>Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en el desmenuzado, homogeneización y moldeado del barro</i> .....	48
<b>Tabla 7</b> <i>Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en el secado de ladrillos</i> .....	50
<b>Tabla 8</b> <i>Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora en la cocción de ladrillos</i> .....	53
<b>Tabla 9</b> <i>Medidas propuestas</i> .....	59
<b>Tabla 10</b> <i>Lista de chequeo ambiental aplicada en la ladrillera artesanal</i> .....	62
<b>Tabla 11</b> <i>Matriz causa–efecto de impactos ambientales</i> .....	63
<b>Tabla 12</b> <i>Indicadores ambientales de seguimiento</i> .....	65
<b>Tabla 13</b> <i>Impacto esperado</i> .....	66
<b>Tabla 14</b> <i>Cronograma de implementación de acciones sostenibles en la ladrillera artesanal de La Cruz – Nariño</i> .....	74
<b>Tabla 15</b> <i>Indicadores de productividad antes y después de la intervención</i> .....	75
<b>Tabla 16</b> <i>Percepción de los trabajadores frente a las mejoras implementadas</i> .....	78
<b>Tabla 17</b> <i>Matriz de indicadores de seguimiento de sostenibilidad en la ladrillera artesanal</i>	79

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Mapa Municipio de La Cruz</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>Plano topográfico general del terreno de la ladrillera artesanal ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz (Nariño)</i> .....	41
<b>Figura 3</b> <i>Esquema planimétrico de distribución funcional y ambiental de la ladrillera artesanal</i> .....	42
<b>Figura 4</b> <i>Secado de ladrillo a temperatura ambiente</i> .....	50
<b>Figura 5</b> <i>Antes de la implementación de las canaletas de aguas lluvias</i> .....	54
<b>Figura 6</b> <i>Instalación sistema de canaletas</i> .....	57
<b>Figura 7</b> <i>Instalación canaletas para recolección de aguas lluvias.</i> .....	57
<b>Figura 8</b> <i>Motor a gasolina de alto consumo (1200 HP)</i> .....	70
<b>Figura 9</b> <i>Motor utilizado en la etapa de homogeneización.</i> .....	70
<b>Figura 10</b> <i>Horno tipo colmena</i> .....	71

## Introducción

La producción artesanal de ladrillos, basada en la cocción de arcilla, genera impactos ambientales significativos debido al uso de combustibles altamente contaminantes, tales como leña sin manejo sostenible, llantas usadas, plásticos y madera de origen no renovable. La combustión de estos materiales produce emisiones considerables de gases nocivos a la atmósfera, entre ellos monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado. Asimismo, el proceso productivo suele implicar un uso indiscriminado de agua potable y la explotación de minas de arcilla sin planes adecuados de manejo ambiental, lo que incrementa la presión sobre los recursos naturales y acelera su deterioro.

La informalidad que caracteriza a muchas de estas microempresas ladrilleras agrava la problemática. En la mayoría de los casos, no existen planes de seguridad y salud en el trabajo, protocolos para la disposición final de residuos sólidos y líquidos, ni seguimiento sistemático a los riesgos ambientales derivados de la actividad. El uso de aceite quemado y madera como fuentes energéticas, sin estrategias de compensación como programas de reforestación, genera impactos negativos sobre los ecosistemas, deteriora la calidad del suelo y favorece la contaminación de los mantos freáticos, además de afectar la estética del paisaje. A ello se suman problemáticas como la contaminación auditiva y la ausencia de medidas de protección adecuadas para los trabajadores.

En este contexto, el presente proyecto aplicado se desarrolla con el propósito de implementar acciones orientadas a la conservación y al uso sostenible de los recursos naturales, mediante la sustitución progresiva de energías convencionales por fuentes renovables en el proceso de producción de ladrillos artesanales. La iniciativa se ejecuta en una ladrillera tradicional ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz

(Nariño), donde se han identificado y comenzado a corregir diversas falencias asociadas a prácticas contaminantes, ineficientes y riesgosas.

En el marco de la transición hacia procesos productivos más sostenibles, se establecieron acciones concretas para sustituir el uso de llantas y plásticos como combustibles por biomasa de origen dendroenergético, particularmente mediante la utilización de madera proveniente de especies como pino y cedro. Este aprovechamiento se fundamenta en lo dispuesto por la Ley 1715 de 2014, que promueve la integración de energías renovables no convencionales y reconoce la biomasa forestal como fuente energética válida dentro del marco de sostenibilidad ambiental. En este sentido, la propuesta no se limita a la adquisición de madera certificada, sino que contempla la implementación de un programa propio de reforestación y el establecimiento de cultivos dendroenergéticos, garantizando trazabilidad, legalidad y sostenibilidad en el suministro del combustible. Esta estrategia no solo favorece el cumplimiento normativo, sino que también contribuye a la regeneración de coberturas vegetales, la reducción de emisiones contaminantes y el fortalecimiento de un modelo de economía circular y autosuficiencia energética en la ladrillera artesanal.

Adicionalmente, se ha iniciado la construcción de un horno tipo colmena, el cual permite un mayor control del proceso de combustión y una reducción significativa de emisiones. Se han realizado mejoras estructurales complementarias, como la optimización del sistema de transporte interno (tarabita), la implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias y la instalación de estaciones clasificadoras para la segregación y disposición técnica de residuos sólidos.

En conjunto, estas acciones contribuyen a la transición hacia un modelo de producción más limpio, eficiente y ambientalmente responsable, cuyos resultados pueden evidenciarse a corto, mediano y largo plazo, en beneficio tanto del entorno natural como de la comunidad trabajadora vinculada a la actividad.

## Planteamiento del problema

En el corregimiento La Estancia, zona rural del municipio de La Cruz, departamento de Nariño, ubicado aproximadamente a un kilómetro del centro poblado, en las coordenadas geográficas 1°36'08.0"N 76°58'16.7"W, se encuentra una ladrillera artesanal que opera en condiciones de informalidad. Esta actividad productiva se desarrolla a pequeña escala y es gestionada por familias residentes en el sector, quienes disponen de recursos limitados, infraestructura precaria y tecnologías rudimentarias para la fabricación de ladrillos cocidos a base de arcilla.

El proceso artesanal de producción de ladrillos en esta región, al igual que en diversas zonas rurales de Colombia, se caracteriza por el uso de combustibles altamente contaminantes, tales como llantas usadas, plásticos, madera sin manejo forestal sostenible y aceites residuales. La combustión de estos materiales genera emisiones significativas de gases contaminantes, entre ellos monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado. Estas emisiones contribuyen a la contaminación atmosférica y representan un riesgo para la salud humana y el ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2020). Asimismo, estas prácticas incrementan la huella de carbono del proceso productivo y exacerbaban los efectos del cambio climático en el ámbito local.

Además de las emisiones atmosféricas, esta actividad productiva suele demandar grandes volúmenes de agua potable sin control en su consumo ni tratamiento posterior de las aguas residuales, lo que genera presión sobre los recursos hídricos locales. A ello se suma la explotación no regulada de minas de arcilla, la inexistencia de un sistema adecuado para el manejo de residuos sólidos y líquidos, y la ausencia de prácticas de restauración ambiental. Estas condiciones intensifican el deterioro del paisaje, favorecen la erosión del suelo y aumentan el riesgo de contaminación de fuentes hídricas subterráneas (Instituto de

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2019). En consecuencia, se compromete la sostenibilidad del ecosistema y se limita el acceso equitativo a los recursos naturales por parte de otras comunidades.

La informalidad que caracteriza a esta ladrillera también implica el desconocimiento o incumplimiento de normas básicas de seguridad y salud en el trabajo, así como la ausencia de control institucional frente a los riesgos ambientales y sociales derivados de la actividad. En Colombia, cerca del 90 % de las ladrilleras artesanales operan en condiciones similares, generando impactos negativos acumulativos en sus entornos y careciendo de planes estructurados de sostenibilidad (González & Pardo, 2021). Esta situación perpetúa condiciones de vulnerabilidad socioeconómica en las familias involucradas, quienes dependen de esta actividad para su sustento, pero no cuentan con garantías laborales ni acceso a programas de apoyo técnico o financiero.

A pesar de las múltiples problemáticas identificadas, la actividad ladrillera constituye una fuente relevante de ingresos para las comunidades rurales y presenta potencial de mejora si se orienta hacia prácticas más limpias y responsables. La implementación de tecnologías como hornos tipo colmena, la sustitución de combustibles contaminantes por biomasa forestal de origen controlado, el aprovechamiento de aguas lluvias y la gestión adecuada de residuos se perfilan como estrategias viables y replicables en contextos similares. En este sentido, el presente proyecto se plantea como una alternativa concreta para analizar e implementar soluciones integrales que contribuyan a la reducción del impacto ambiental y al fortalecimiento productivo y social de la ladrillera artesanal en el municipio de La Cruz, Nariño.

## Justificación

La producción artesanal de ladrillos en Colombia constituye una fuente significativa de empleo e ingresos para comunidades rurales, especialmente en territorios donde existen limitadas alternativas de desarrollo económico. No obstante, esta actividad, desarrollada tradicionalmente en condiciones de informalidad, con recursos tecnológicos insuficientes y sin control ambiental adecuado, genera múltiples impactos negativos tanto en el entorno natural como en las condiciones de vida de quienes la ejercen. En este sentido, resulta indispensable una intervención técnica y contextualizada que permita transformar esta práctica hacia modelos productivos sostenibles, respetuosos de los ecosistemas, orientados al mejoramiento de la calidad de vida de las familias involucradas y coherentes con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente aquellos relacionados con producción y consumo responsables, energía asequible y no contaminante, trabajo decente y acción por el clima (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023).

La situación identificada en la ladrillera artesanal del corregimiento La Estancia, en el municipio de La Cruz (Nariño), evidencia los desafíos estructurales que enfrentan numerosas microempresas del sector. Entre ellos se destacan el uso de combustibles altamente contaminantes como llantas usadas, plásticos y madera de origen no renovable; la explotación descontrolada de recursos naturales, especialmente agua potable y arcilla; la ausencia de sistemas adecuados para la disposición de residuos sólidos y líquidos; y la inexistencia de condiciones seguras de trabajo. Estas prácticas afectan no solo el ambiente, sino también la salud de las personas y la sostenibilidad de la actividad en el mediano y largo plazo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2020). En este contexto, la implementación de estrategias orientadas a la sustitución de energías convencionales por fuentes renovables se configura como una alternativa pertinente y necesaria.

La relevancia del presente proyecto radica en su carácter aplicado y en su enfoque transformador. A diferencia de una investigación exclusivamente teórica, este trabajo tiene como propósito generar acciones concretas susceptibles de ejecución, evaluación y replicabilidad en unidades productivas similares. En este marco, se implementó la sustitución de combustibles contaminantes, reemplazando el uso de llantas y plásticos por biomasa forestal renovable proveniente de especies como pino y cedro; la construcción de un horno tipo colmena con mayor eficiencia energética y menores emisiones; el aprovechamiento de aguas lluvias; la instalación de puntos de disposición de residuos; y la formulación de planes de reforestación. Estas acciones evidencian que, mediante acompañamiento técnico y una visión integral del problema, es posible reconvertir procesos tradicionales contaminantes en sistemas más sostenibles y socialmente responsables.

Asimismo, el proyecto contribuye a visibilizar las necesidades y potencialidades de las comunidades rurales, promoviendo la apropiación social del conocimiento, la participación comunitaria y el fortalecimiento de los medios de vida sin comprometer el equilibrio ecológico. Además de los beneficios ambientales, se proyecta que la adopción de tecnologías limpias y prácticas sostenibles incremente la eficiencia productiva, reduzca los costos operativos y genere nuevas oportunidades de comercialización para productos elaborados bajo estándares ecológicos. De esta manera, se impulsa no solo la protección del medio ambiente, sino también el fortalecimiento económico y organizativo de las familias vinculadas a la actividad ladrillera.

En consecuencia, este proyecto constituye una contribución relevante tanto en el ámbito local como en el diseño de estrategias sostenibles para zonas rurales colombianas, al promover modelos productivos más responsables, resilientes y alineados con las exigencias ambientales contemporáneas.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar la viabilidad técnica y ambiental de sustituir las fuentes de energía convencionales por energías renovables en el proceso de producción de una ladrillera tradicional ubicada en el municipio de La Cruz, Nariño, con el propósito de promover prácticas productivas sostenibles y mitigar el impacto ambiental derivado de esta actividad.

### **Objetivos específicos**

Diagnosticar el estado actual de los procesos operativos, la infraestructura y el consumo energético de la ladrillera, con el fin de identificar oportunidades de mejora para la incorporación de fuentes de energía renovable.

Evaluar el impacto ambiental de las prácticas productivas vigentes, proponiendo estrategias orientadas a reducir el uso de combustibles contaminantes, optimizar el consumo de agua y minimizar la generación de residuos sólidos y emisiones atmosféricas.

Diseñar e implementar acciones sostenibles dirigidas a la sustitución de fuentes energéticas convencionales por alternativas más limpias, incluyendo la automatización parcial de procesos, el uso de biomasa forestal de origen controlado y la construcción o adecuación de infraestructura con mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental.

## Marco contextual

### Información general

El municipio de La Cruz se localiza en la vertiente nororiental del Nudo de los Pastos, en la cordillera Oriental de Colombia. Hace parte de la subregión Río Mayo del departamento de Nariño, junto con los municipios de San Pablo, El Tablón de Gómez, Belén, San Bernardo, Colón y Albán. Esta ubicación le confiere una posición estratégica dentro de la región andina del suroccidente colombiano (Centro de Estudios para el Desarrollo Regional y Empresarial [CEDRE], 2024).

Limita al norte con los municipios de San Pablo (Nariño) y Bolívar (Cauca); al oriente con Bolívar y Santa Rosa (Cauca); al sur con El Tablón de Gómez, San Bernardo y Belén; y al occidente con Belén, Colón y Génova. Dentro de su jurisdicción se encuentra parte del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, una de las áreas protegidas más importantes del departamento por su biodiversidad, riqueza hídrica y provisión de servicios ecosistémicos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2023).

El municipio abarca una extensión aproximada de 239,36 km<sup>2</sup>, equivalente al 0,72 % del territorio departamental, y se encuentra a 103 kilómetros de la capital de Nariño, San Juan de Pasto. La cabecera municipal se sitúa en las coordenadas 1°35'57" latitud norte y 76°58'24" longitud oeste, a una altitud de 2.440 metros sobre el nivel del mar. El área urbana comprende 29 km<sup>2</sup> y está conformada por 16 barrios: San Antonio, Villa del Norte, La Floresta, Belén, Granada, Santander Alto, Santander, Pablo Sexto, Morochillo, Madrigal, Urbanización Llanogrande, Chorrillo, Sultana del Mayo, La Pola, Fenelón Ordóñez y Centro (CEDRE, 2024).

El territorio rural se extiende por aproximadamente 210 km<sup>2</sup> y está integrado por seis corregimientos: Cabuyales, Escandoy, La Estancia, San Gerardo, San Rafael y Tajumbina.

Estas áreas rurales constituyen un componente esencial de la identidad productiva, agrícola y cultural del municipio, siendo escenario de actividades como la ganadería, la agricultura de subsistencia y la producción artesanal, incluida la elaboración tradicional de ladrillos (Alcaldía Municipal de La Cruz, 2020).

Este contexto geográfico y territorial resulta fundamental para comprender el escenario en el que se desarrolla el presente estudio, especialmente en lo relacionado con la vocación y distribución del uso del suelo, el acceso a recursos naturales y la localización de iniciativas productivas susceptibles de beneficiarse de la implementación de energías renovables y tecnologías limpias.

### **Figura 1**

*Municipio de La Cruz*



*Fuente: CEDRE, 2024.*

## **Marco conceptual y teórico**

El presente estudio, titulado *Estudio de viabilidad para la sustitución de energías convencionales por energías renovables aplicado en el proceso de producción de ladrillos artesanales en una ladrillera tradicional ubicada en La Cruz, Nariño*, plantea una mejora técnica y ambiental fundamentada en el diagnóstico de las prácticas predominantes en la industria ladrillera artesanal colombiana.

De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, en el marco del programa *Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad* (2018), las microempresas ladrilleras —también denominadas *chircales*— operan principalmente con hornos tipo “fuego dormido” o “pamba”, caracterizados por bajo rendimiento térmico, altas emisiones contaminantes y procesos productivos empíricos con escasa estandarización (Ministerio de Minas y Energía, s.f.). Estas condiciones coinciden con las identificadas en la ladrillera artesanal objeto de estudio en La Cruz (Nariño), donde se evidencian hornos de baja eficiencia, limitada tecnificación, inexistencia de control de calidad y condiciones laborales precarias.

Asimismo, estas unidades productivas suelen estar integradas por miembros de un mismo núcleo familiar, sin esquemas formales de contratación ni afiliación a sistemas de seguridad social. El trabajo se realiza generalmente a destajo y de forma intermitente, lo que repercute negativamente en la estabilidad económica y la calidad de vida de las familias vinculadas (Ministerio de Minas y Energía, s.f.).

### ***Impactos ambientales asociados a la producción artesanal***

#### **Emisiones atmosféricas**

El uso de combustibles como leña, llantas, plásticos y aceite usado genera emisiones significativas de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado (MP), compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Según la Comisión Europea (2007):

Los NO<sub>x</sub> se producen principalmente por fijación térmica del nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire de combustión, especialmente a temperaturas superiores a 1.200 °C.

El CO se genera durante procesos de combustión incompleta, cuando el suministro de oxígeno es insuficiente.

Los COV y el MP derivan de combustiones incompletas o del uso de combustibles de baja calidad.

Los metales pesados, aunque suelen presentarse en bajas concentraciones en las materias primas, pueden liberarse cuando se utilizan combustibles sólidos contaminados.

En Colombia, se han reportado emisiones en hornos tipo colmena de hasta 7,84 kg de MP/t, 2,05 kg de NO<sub>x</sub>/t, 3,59 kg de SO<sub>2</sub>/t y 201,43 kg de CO<sub>2</sub>/t (Gil & Rincón, 2017), lo que evidencia la magnitud del impacto atmosférico del sector artesanal.

Además, el proceso productivo incluye el uso indiscriminado de agua potable y la explotación informal de minas de arcilla, sin planes adecuados de manejo ambiental ni disposición técnica de residuos sólidos y líquidos.

### ***Contaminación de suelo, agua y paisaje***

En regiones con actividad ladrillera, los suelos circundantes presentan acumulación de metales pesados como zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y azufre, incluso a distancias de 500 a 1.000 metros del foco emisor (Gil Fuquene & Rincón Suescún, 2017).

La extracción informal de arcilla genera:

Erosión y pérdida de cobertura vegetal.

Sedimentación de fuentes hídricas.

Alteración del paisaje.

Riesgo de contaminación de acuíferos.

La ausencia de sistemas de gestión de residuos agrava la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, afectando la biodiversidad local.

### ***Impacto en salud y condiciones laborales***

La exposición continua a contaminantes atmosféricos incrementa la incidencia de enfermedades respiratorias en trabajadores y comunidades vecinas. Según la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC, 2019), la contaminación del aire en el sector artesanal contribuye significativamente a la carga de enfermedades respiratorias en Colombia.

Adicionalmente, la informalidad laboral —trabajo a destajo, ausencia de contratos y falta de protección social— limita el bienestar y la seguridad ocupacional de las familias productoras.

La actividad también genera contaminación acústica derivada del uso de motores diésel y prensas artesanales, sin medidas adecuadas de protección auditiva.

### ***Viabilidad técnica y ambiental***

La viabilidad técnica evalúa la posibilidad de adaptar la infraestructura y los procesos productivos existentes a tecnologías basadas en energías renovables sin afectar la continuidad operativa.

La viabilidad ambiental se relaciona con la reducción efectiva de impactos y el cumplimiento de estándares normativos, como la Resolución 909 de 2008 sobre emisiones de fuentes fijas (Echeverri et al., 2022).

### ***Energías convencionales versus energías renovables***

Las energías convencionales empleadas en el sector (carbón mineral, madera no certificada y residuos contaminantes) generan altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En contraste, alternativas como:

Biomasa certificada

Energía solar térmica

Energía solar fotovoltaica

Sistemas de combustión eficiente

presentan menor impacto ambiental y mayor sostenibilidad a largo plazo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2016).

### ***Cambio climático y carbono negro***

El carbono negro es un contaminante climático de vida corta con alto potencial de calentamiento global y efectos significativos sobre la salud pública.

Organizaciones como la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC) y el Centro de Automatización Energética y del Medio Ambiente (CAEM) han promovido estrategias tecnológicas para reducir emisiones en el sector ladrillero (CCAC, 2020; CAEM, 2021).

Colombia ha sido referente regional en medición y control de emisiones en ladrilleras artesanales (CCAC, 2020).

### ***Análisis de Ciclo de Vida (ACV)***

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica reconocida internacionalmente para evaluar impactos ambientales desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

La norma International Organization for Standardization establece en la ISO 14040:2006 cuatro fases:

Definición de objetivos y alcance

Análisis de inventario

Evaluación de impactos

Interpretación (ISO, 2006)

En la producción artesanal de ladrillos, los principales puntos críticos identificados incluyen (López et al., 2019):

Extracción de arcilla

Consumo de agua en homogenización

Cocción con combustibles contaminantes

Transporte y distribución

Gestión de residuos al final de la vida útil

### **Economía circular**

La economía circular constituye un modelo alternativo al esquema lineal de “extraer–producir–usar–desechar”. Según la Ellen MacArthur Foundation (2015), sus principios fundamentales son:

Regenerar los sistemas naturales.

Optimizar el rendimiento de los recursos.

Mejorar la efectividad del sistema mediante la reducción de externalidades.

En el sector ladrillero, su aplicación implica:

Reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD).

Recuperación de calor residual del horno.

Captación de aguas lluvias.

Sustitución de combustibles contaminantes por biomasa certificada o gas natural.

Este enfoque favorece la reducción de emisiones, la disminución de costos operativos y el cierre de ciclos productivos.

### ***Producción de ladrillos artesanales en Colombia***

La producción artesanal tiene alta presencia en Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca (Minambiente & UPME, 2015).

En 2015 se identificaron 1.508 unidades productivas en 15 departamentos, con una producción anual cercana a 13 millones de toneladas. Aunque el 76 % de las unidades son

artesanales, estas aportan solo el 24 % de la producción total, mientras que la gran industria (3 % de las unidades) genera el 45 % (Minambiente & UPME, 2015).

El sector emplea aproximadamente 25.348 personas y aporta el 1,2 % del PIB en productos no metálicos (Minambiente & UPME, 2015). Sin embargo, enfrenta baja eficiencia energética, informalidad y obsolescencia tecnológica.

La fase de cocción representa hasta el 95 % del consumo energético térmico. El consumo promedio alcanza:

1.396,6 kBTU/tonelada en cocción

670,4 kBTU/tonelada en secado

El sector consume 4.356,16 TJ/año de carbón, equivalente a 397,4 kilotoneladas de CO<sub>2</sub>/año (Minambiente & UPME, 2015).

### **Marco Normativo**

En Colombia, las actividades con potencial impacto ambiental, sanitario y territorial como la minería se encuentran reguladas por un marco normativo amplio y articulado que establece directrices para su desarrollo bajo principios de sostenibilidad, prevención del riesgo y responsabilidad social. A continuación, se presenta la normativa relevante en orden cronológico, con una breve descripción de su alcance:

#### **Decreto 2811 de 1974**

Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Reconoce el ruido nocivo como agente contaminante y establece disposiciones generales para la protección del ambiente, la conservación de los recursos naturales y la prevención de impactos que afecten la salud y el bienestar humano.

#### **Ley 9 de 1979**

Código Sanitario Nacional.

Establece medidas sanitarias orientadas a la prevención de enfermedades, el manejo adecuado de residuos sólidos y el control de factores de riesgo ambiental en actividades productivas como la minería y el desarrollo urbano.

**Resolución 2400 de 1979 – Ministerio de Trabajo y Seguridad Social**

Adopta disposiciones sobre higiene, seguridad y condiciones locativas en los lugares de trabajo. Establece la obligatoriedad de estudios técnicos de ruido y fija un límite máximo permisible de 85 decibeles (dB) de presión sonora en ambientes laborales.

**Ley 46 de 1988**

Crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, articulando esfuerzos institucionales para la gestión del riesgo derivado de actividades humanas, incluida la actividad minera.

**Decreto 2462 de 1989**

Reglamenta parcialmente disposiciones del entonces vigente Código de Minas, complementando aspectos técnicos y de seguridad aplicables al sector.

**Ley 99 de 1993**

Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Sus Títulos II, IV, VI y VIII establecen competencias institucionales y regulan el procedimiento para la obtención de licencias ambientales.

**Decreto 2222 de 1993**

Reglamenta aspectos de higiene y seguridad industrial en la minería a cielo abierto, con énfasis en la protección de los trabajadores y la prevención de riesgos laborales.

**Ley 388 de 1997**

Define los lineamientos del ordenamiento territorial municipal, incluyendo la clasificación del suelo y la articulación entre planificación urbana, desarrollo económico y protección ambiental.

**Ley 685 de 2001**

Código de Minas vigente. Regula la exploración y explotación de recursos minerales bajo criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia técnica y responsabilidad social.

Resolución 18-0861 de 2002 – Ministerio de Minas y Energía

Adopta las Guías Minero-Ambientales como instrumentos técnicos de orientación para el cumplimiento de obligaciones ambientales en el sector minero.

**Ley 769 de 2002**

Código Nacional de Tránsito Terrestre. Faculta al Gobierno Nacional para regular los niveles permisibles de emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles terrestres, con incidencia en zonas de actividad minera e industrial.

**Resolución 627 de 2006**

Establece los niveles máximos permisibles de emisión de ruido y ruido ambiental en el territorio nacional, aplicables a actividades industriales y extractivas.

**Decreto 2041 de 2014**

Reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 y define el procedimiento para el trámite de licencias ambientales en proyectos, obras o actividades, incluyendo proyectos mineros.

**Decreto 1073 de 2015**

Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, que compila la normativa vigente del sector.

**Decreto 1076 de 2015**

Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Compila la normativa ambiental vigente y establece parámetros técnicos sobre emisiones atmosféricas, ruido ambiental y control de la contaminación.

**Resolución 2206 de 2016**

Adopta los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de explotación minera.

**Resolución 2254 de 2017 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**

Adopta la norma nacional de calidad del aire ambiente, estableciendo estándares para la protección de la salud pública frente a contaminantes atmosféricos.

## **Metodología**

El presente proyecto tiene como finalidad la sustitución progresiva de las fuentes de energía convencionales empleadas en una ladrillera artesanal por alternativas basadas en energías renovables, con el propósito de mitigar el impacto ambiental derivado de esta actividad productiva. La iniciativa surge como respuesta a problemáticas evidentes, tales como la contaminación atmosférica, el uso no controlado de recursos naturales y la exposición de los trabajadores a condiciones de riesgo ambiental y ocupacional.

La unidad productiva objeto de estudio se encuentra ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz, departamento de Nariño. Su operación es de carácter informal, sin registro ante entidades reguladoras ni permisos ambientales vigentes. Ha sido catalogada como “ladrillera de subsistencia”, condición que refleja su vulnerabilidad frente a los requerimientos técnicos, legales y ambientales establecidos por la normativa colombiana.

Esta situación limita la capacidad de supervisión institucional y dificulta la implementación de estándares mínimos de seguridad industrial y gestión ambiental.

Un antecedente relevante ocurrió en el año 2015, cuando un evento natural asociado a la inestabilidad geográfica del terreno y la ausencia de medidas preventivas adecuadas provocó un accidente fatal en el que fallecieron siete trabajadores. Este hecho evidenció la necesidad urgente de intervenir la actividad productiva no solo desde la perspectiva ambiental, sino también desde un enfoque integral que contemple derechos humanos, seguridad laboral y salud ocupacional.

En consecuencia, el presente estudio propone una transformación estructural del sistema productivo, orientada a la reconversión energética, la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de riesgos ambientales y laborales.

Desarrollo metodológico por objetivos específicos

El proyecto aplicado se estructura en torno a tres objetivos específicos, desarrollados mediante actividades de diagnóstico en campo, análisis técnico, revisión normativa y formulación de propuestas adaptadas al contexto rural de la ladrillera artesanal. Las acciones metodológicas buscan transformar el sistema productivo actual hacia un modelo más eficiente, sostenible y alineado con el uso de energías renovables.

### **Diagnóstico técnico-operativo y energético**

Objetivo: Diagnosticar el estado actual de los procesos operativos, la infraestructura y el consumo energético de la ladrillera, con el fin de identificar oportunidades de mejora para la implementación de energías renovables.

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó una caracterización técnica integral mediante visitas de campo programadas en diferentes momentos del ciclo productivo. Se emplearon fichas de observación estructurada y registros técnicos para documentar variables relacionadas con:

Configuración y estado del horno artesanal.

Tiempos de cocción y rendimiento térmico.

Tipos y volúmenes de combustibles utilizados.

Manejo del recurso hídrico.

Distribución espacial y condiciones locativas.

Adicionalmente, se elaboró un levantamiento planimétrico básico con el fin de identificar flujos de producción, áreas críticas y posibles cuellos de botella operativos.

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a operarios y responsables de la producción para comprender la lógica del proceso artesanal, las prácticas tradicionales de combustión y la percepción de riesgos laborales y ambientales. Esta información cualitativa se complementó con mediciones directas del consumo energético, incluyendo:

Uso de medidores portátiles de electricidad (cuando aplicable).

Cálculo del volumen y tipo de combustible empleado.

Registro del rendimiento por ciclo de cocción.

Con base en los datos recolectados, se elaboró un diagnóstico integral que permitió identificar ineficiencias energéticas, sobrecostos operativos, condiciones de inseguridad estructural y prácticas de bajo rendimiento térmico. Esta fase constituye el fundamento técnico para la posterior formulación de alternativas sostenibles.

### **Evaluación del impacto ambiental y formulación de estrategias de mitigación**

Objetivo: Evaluar el impacto ambiental de las prácticas productivas actuales y proponer estrategias orientadas a la reducción del uso de combustibles fósiles, la optimización del consumo de agua y la minimización de residuos.

La evaluación ambiental se realizó mediante una aproximación metodológica al Análisis de Ciclo de Vida (ACV), centrada en las etapas del proceso productivo con mayor generación de impactos.

Se establecieron indicadores ambientales básicos tales como:

Volumen de agua utilizada por tonelada de ladrillo producido.

Cantidad de residuos sólidos generados.

Niveles estimados de material particulado durante la cocción.

Volumen aproximado de emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles.

Se aplicaron matrices causa-efecto tipo Leopold y listas de chequeo adaptadas al contexto artesanal, considerando aspectos como:

Origen y tipo de biomasa utilizada.

Manejo de cenizas y escorias.

Almacenamiento de materiales.

Gestión de aguas lluvias y residuales.

Condiciones de ventilación.

Asimismo, se realizó revisión de la normativa ambiental vigente, incluyendo la Resolución 909 de 2008, relativa a emisiones atmosféricas, y la Resolución 631 de 2015, sobre vertimientos líquidos, con el propósito de contrastar los resultados obtenidos con los estándares legales aplicables.

A partir de la identificación de impactos críticos, se formularon estrategias de mitigación que incluyen:

Reconversión energética progresiva.

Implementación de sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias.

Disposición diferenciada de residuos sólidos.

Rediseño del proceso de cocción para mejorar la eficiencia térmica.

Estas estrategias fueron evaluadas en términos técnicos y económicos, priorizando aquellas de mayor aplicabilidad en el entorno rural y con requerimientos tecnológicos moderados.

### **Diseño e implementación de acciones sostenibles**

Objetivo: Diseñar e implementar acciones sostenibles orientadas a la sustitución de fuentes energéticas contaminantes, incluyendo automatización parcial, uso de biomasa forestal y mejora de infraestructura.

Con base en el diagnóstico técnico y la evaluación ambiental, se formuló un plan de intervención sostenible orientado a la transformación energética del sistema productivo.

Entre las acciones propuestas se encuentran:

Sustitución progresiva de combustibles fósiles por biomasa forestal certificada o residuos agroindustriales disponibles localmente.

Rediseño del horno artesanal para incrementar la eficiencia térmica.

Implementación de sistemas híbridos de generación de calor.

Automatización parcial de procesos de carga, secado y monitoreo térmico mediante dispositivos básicos de control.

El proceso de implementación contempla la participación de los trabajadores, a través de talleres formativos, jornadas prácticas y espacios de socialización técnica. Se promueve el uso de herramientas digitales de bajo costo para el monitoreo de variables clave, tales como temperatura interna, consumo energético y tiempos de cocción.

La validación de las acciones se realiza mediante pruebas piloto en condiciones reales de producción, lo que permite ajustar los diseños a las capacidades operativas de la unidad productiva.

Finalmente, se elaboró una hoja de ruta para la implementación progresiva de las medidas propuestas, que incluye:

Cronograma de adaptación tecnológica.

Estimación de costos y beneficios.

Esquema de monitoreo ambiental y evaluación continua.

### **Desarrollo de los objetivos del proyecto**

Diagnosticar el estado actual de los procesos operativos, de infraestructura y de consumo energético en la ladrillera, con el fin de identificar oportunidades de mejora para la implementación de energías renovables.

### **Evaluación general del sistema productivo.**

Durante la fase de diagnóstico técnico-operativo, se llevaron a cabo varias jornadas de campo en la ladrillera artesanal ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz (Nariño). Estas actividades incluyeron recorridos de observación directa, entrevistas abiertas con los trabajadores, aplicación de listas de chequeo técnico-operativas, registro fotográfico y revisión documental de informes previos relacionados con la actividad productiva.

La evaluación abarcó aspectos como las falencias en los procesos actuales, el consumo energético, el uso de recursos naturales y las condiciones de infraestructura física y tecnológica. Gracias a esta metodología integral, fue posible construir una línea base que facilitó la identificación de oportunidades de mejora y la viabilidad de implementar tecnologías limpias y sostenibles en la ladrillera, a continuación, en la Tabla 1, se resumen los instrumentos utilizados en la fase diagnóstica.

**Tabla 1***Instrumentos utilizados en la fase diagnóstica*

<b>Instrumento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Objetivo principal</b>
Listas de chequeo técnico-operativas	Formatos estructurados aplicados en campo.	Identificar falencias en procesos productivos, consumo energético y uso de recursos.
Entrevistas abiertas	Conversaciones con trabajadores y responsables de la ladrillera.	Conocer percepciones, prácticas habituales y necesidades de mejora.
Registros fotográficos y audiovisuales	Documentación visual de procesos, equipos y condiciones de infraestructura.	Evidenciar el estado real de las operaciones y apoyar el análisis técnico.
Observación directa	Recorridos en las áreas de producción y almacenamiento.	Verificar en tiempo real las condiciones de trabajo y manejo de insumos.
Revisión documental	Consulta de estudios previos, normas y datos técnicos disponibles.	Contrastar la información de campo con fuentes técnicas y normativas.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del trabajo de campo (2025).

El proceso de producción de ladrillos artesanales en la zona se caracteriza por el uso intensivo de métodos manuales y mecánicos rudimentarios, dependencia de combustibles contaminantes, y la ausencia de un sistema estructurado para el tratamiento de residuos y

aguas residuales. Se identificaron seis etapas críticas del proceso productivo: recolección del barro, traslado, desmenuzado, homogeneización y moldeado, secado, y cocción del ladrillo.

### **Instrumentos aplicados en el diagnóstico técnico-operativo**

Durante la fase de diagnóstico se aplicaron diversos instrumentos metodológicos que permitieron recopilar información detallada sobre las condiciones operativas, energéticas y de infraestructura de la ladrillera artesanal. Entre los principales se destacan las listas de chequeo, las entrevistas abiertas y el levantamiento planimétrico del área de trabajo.

**Listas de chequeo.** Se elaboraron y aplicaron listas de chequeo estructuradas a partir de los lineamientos técnicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2015) y la Guía Ambiental para el Subsector Ladrillero (ANLA, 2017). Estas listas fueron utilizadas durante la observación directa y permitieron registrar de forma sistemática los siguientes aspectos:

**Tabla 2***Lista de chequeo 1. Infraestructura y condiciones generales*

<b>Categoría</b>	<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción / Evidencia observada</b>	<b>Valoración inicial</b>	<b>Observaciones de campo</b>
Áreas de trabajo	Delimitación y señalización de zonas	Existían divisiones entre áreas operativas, almacenamiento y zona de cocción.	Cumple	Falta organización espacial entre procesos
Techumbre	Disposición de aguas lluevías	No se evidencia un sistema de recolección de aguas lluevías, a pesar de que los techos se encuentran en buenas condiciones.	✗ No cumple	Inadecuada disposición de aguas lluevías.
Hornos	Eficiencia.	Horno artesanal tipo tradicional.	✗ No cumple	Ineficiente en retención térmica y alto consumo de combustible.
Área de secado	Ubicación y ventilación	Exposición directa al sol y la lluvia.	✗ No cumple	Pérdidas por fracturas en

				ladrillos húmedos o sobreexpuestos.
Espacios de almacenamiento	Clasificación de materiales	Materiales, desechos y herramientas almacenados sin orden.	<input checked="" type="checkbox"/> No cumple	Mezcla de residuos, barro y materiales de combustión.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del trabajo de campo (2025).

**Tabla 3***Lista de chequeo 3. Consumo energético y recursos naturales*

<b>Recurso</b>	<b>Aspecto evaluado</b>	<b>Descripción / Evidencia observada</b>	<b>Valoración inicial</b>	<b>Observaciones de campo</b>
Energía	Tipo de fuente utilizada	Gasolina y combustión no controlada de residuos sólidos.	✘ No cumple	Emisiones altas de CO <sub>2</sub> y partículas PM10.
Agua	Fuente de abastecimiento	Agua potable del acueducto comunitario.	⚠ Parcial	No se contaba con sistema de captación ni reutilización.
Eficiencia energética	Rendimiento de equipos	Motor antiguo	✘ No cumple	Alto consumo energético por baja eficiencia mecánica.
Calor residual	Aprovechamiento térmico	No se aprovechaba el calor de hornos para otras etapas.	✘ No cumple	Potencial de reutilización desaprovechado.
Materia prima	Tipo y extracción	Barro alofánico extraído sin planificación.	⚠ Parcial	Riesgo de agotamiento de zonas y erosión del terreno.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del trabajo de campo (2025).

**Tabla 4***Lista de chequeo 4. Gestión ambiental y residuos*

<b>Aspecto evaluado</b>	<b>Descripción / Evidencia observada</b>	<b>Valoración inicial</b>	<b>Observaciones de campo</b>
Disposición de residuos sólidos	Acumulación a cielo abierto, mezcla de restos plásticos y orgánicos.	✗ No cumple	Crear puntos ecológicos y promover reciclaje.
Aguas lluvias	Sistema de recolección	✗ No cumple	Inexistente.
Aguas residuales	Manejo de drenaje	✗ No cumple	Estancamiento de aguas grises cerca del área de trabajo.
Educación ambiental	Capacitaciones	✗ No cumple	No se habían realizado capacitaciones.
Reforestación	Manejo del entorno	✗ No cumple	Sin vegetación protectora en zonas de extracción.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del trabajo de campo (2025).

Estas listas sirvieron de base para el análisis comparativo y la identificación de oportunidades de mejora en eficiencia energética, uso de recursos naturales y seguridad ocupacional.

## **Levantamiento planimétrico**

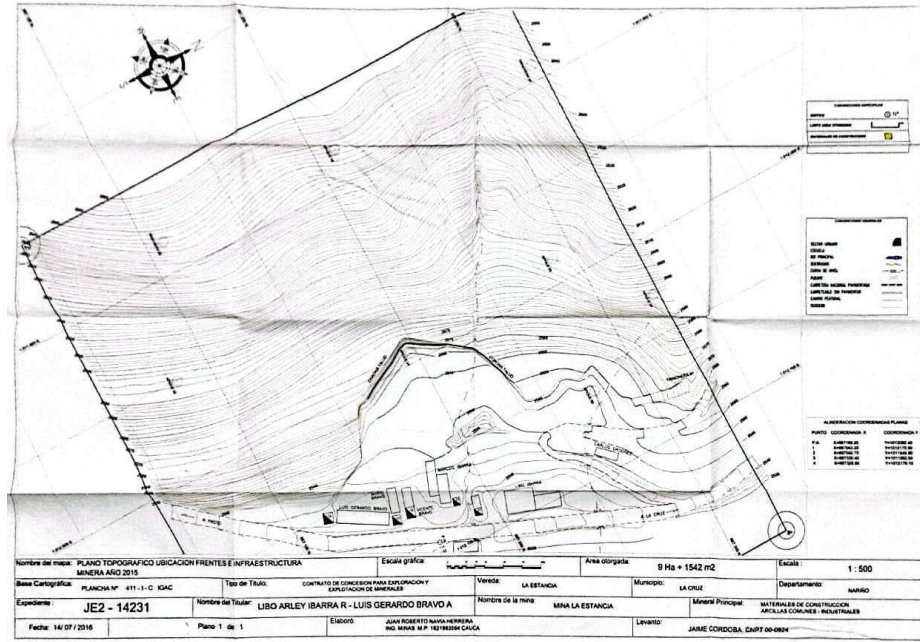
Con el propósito de analizar la organización espacial de la ladrillera artesanal y establecer una base técnica para las intervenciones propuestas, se llevó a cabo un levantamiento planimétrico del área de trabajo. Este procedimiento permitió caracterizar de manera precisa la configuración física del terreno y las condiciones existentes del entorno productivo.

En la Figura 1 se presenta el plano topográfico original del predio donde se desarrolla la actividad productiva. Dicho plano permitió reconocer la morfología del sitio, los niveles de pendiente y la disposición general de las estructuras existentes, elementos fundamentales para la planificación de mejoras en infraestructura y drenaje.

Posteriormente, en la Figura 2 se elaboró un plano esquemático complementario que representa la distribución funcional de las áreas operativas. Este esquema facilitó la identificación de las relaciones entre los distintos procesos productivos, las rutas internas de traslado del material y los puntos críticos asociados al manejo ambiental, tales como zonas de almacenamiento, áreas de combustión y espacios de disposición de residuos.

**Figura 2**

*Plano topográfico general del terreno de la ladrillera artesanal ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz (Nariño)*



*Fuente:* Tomado de archivo técnico de la mina La Estancia (2016).

**Figura 3**

*Esquema planimétrico de distribución funcional y ambiental de la ladrillera artesanal*



*Fuente:* Elaboración propia (2025).

### **Análisis técnico por etapas del proceso**

#### ***Recolección y traslado del barro***

Se identificó que la extracción del barro se realiza mediante herramientas manuales, como picos y palas, lo que genera una alta demanda de esfuerzo físico y limita la productividad del proceso. Una vez recolectado, el material es transportado a través de un sistema de tarabita con polea, accionado por un motor de combustión a gasolina. Este método presenta importantes limitaciones técnicas, entre ellas la dependencia de combustibles fósiles, la generación de emisiones contaminantes, el incremento en los costos operativos y la exposición de los trabajadores a riesgos mecánicos y ambientales.

## **Propuesta de mejora**

Con el fin de optimizar esta etapa del proceso productivo, se propone la implementación de un sistema híbrido de transporte que combine mecanismos de contrapeso mejorados con el uso de energías renovables.

### **Sistema de contrapeso optimizado:**

En sustitución del diseño básico basado en dos baldes, se plantea la instalación de un sistema de vagonetas o cajones metálicos guiados sobre rieles, con mayor capacidad volumétrica. Este diseño permitiría transportar mayores cantidades de barro por ciclo, reduciendo el número de maniobras necesarias y mejorando la eficiencia operativa. El sistema aprovecharía la fuerza de la gravedad y la energía cinética para disminuir el requerimiento de energía externa, optimizando así el consumo energético del proceso.

### **Integración con energía renovable.**

Se propone la incorporación de un motor eléctrico de baja potencia alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos, que funcionaría como sistema de apoyo en situaciones de mayor carga o cuando la energía cinética del contrapeso no sea suficiente. Esta solución permitiría reducir significativamente la dependencia de combustibles fósiles, disminuir las emisiones atmosféricas y garantizar la continuidad operativa del sistema.

### **Seguridad laboral.**

El rediseño contemplaría la instalación de frenos mecánicos, sistemas de bloqueo y puntos de anclaje en las guías, con el objetivo de prevenir accidentes durante el traslado del material. Asimismo, la sustitución del motor de combustión contribuiría a disminuir la exposición de los trabajadores a gases contaminantes, ruido excesivo y riesgos asociados a la manipulación de combustibles.

### **Eficiencia operativa:**

Con la implementación del sistema propuesto, se estima un incremento de hasta un 40

% en la capacidad de transporte por ciclo, junto con una reducción significativa en los costos de combustible y en los tiempos de traslado desde la zona de extracción hasta el área de procesamiento.

A continuación, en la Tabla 2, se presenta un análisis comparativo entre el sistema tradicional y la propuesta de mejora.

**Tabla 5**

*Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en la recolección y traslado del barro*

<b>Criterio</b>	<b>Sistema anterior (tarabita con motor a gasolina)</b>	<b>Propuesta de mejora (sistema de contrapeso)</b>
Fuente de energía	Motor a gasolina (combustible fósil).	Fuerza cinética de contrapeso, sin consumo de combustibles ni electricidad.
Eficiencia operativa	Traslado limitado a un balde por ciclo; dependencia del motor.	Mayor continuidad y menor costo de operación; sistema más simple y eficiente.
Costos de operación	Elevados por consumo de combustible y mantenimiento del motor.	Bajos: inversión inicial en estructura, sin costos recurrentes de combustible.
Impacto ambiental	Emisiones de CO <sub>2</sub> , ruido y contaminación por uso de gasolina.	Cero emisiones y mínimo impacto ambiental.
Seguridad laboral	Riesgo por manipulación de motor, cables y poleas.	Mayor seguridad: sistema estable, sin combustión ni altas temperaturas.
Mantenimiento requerido	Frecuente: motor, cables, poleas y piezas mecánicas.	Bajo: revisión periódica de baldes, poleas y engranajes.
Adaptabilidad	Limitada a la disponibilidad de combustible y estado del motor.	Alta: funciona con mecánica simple, adaptable a diferentes cargas.

Sostenibilidad	Baja: dependencia de combustibles fósiles.	Alta: sistema limpio y autosuficiente basado en mecánica básica.
----------------	--	--

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

Con la implementación de estas mejoras, el proceso de traslado del barro no solo se optimiza en términos de sostenibilidad y seguridad, sino que también se alinea con los principios de eficiencia energética y reducción de emisiones planteados en el proyecto.

### **Desmenuzado, homogeneización y moldeado**

El barro extraído pasa por una fase de desmenuzado previo a su ingreso en la máquina moldeadora. Actualmente, este proceso se realiza mediante un motor de combustión a gasolina —reportado con una potencia de 12 HP— que acciona el sistema de mezcla y moldeado de la materia prima. Además de implicar un alto consumo energético, este método presenta deficiencias en la uniformidad de la mezcla, lo que puede afectar la calidad final del ladrillo y generar reprocesos.

### ***Propuesta de mejora***

Se propone integrar las etapas de desmenuzado, homogeneización y moldeado en un sistema automatizado continuo. Este sistema incluiría:

Un contenedor tipo embudo para la alimentación del material.

Un tornillo sinfín para el transporte y dosificación controlada del barro.

Un sistema de mezcla mecánica que garantice mayor uniformidad.

Una sección de moldeado accionada mediante energía fotovoltaica.

La unificación de estas fases en un sistema continuo permitiría optimizar el flujo de producción, reducir tiempos de operación y disminuir el consumo energético asociado al proceso. Asimismo, la incorporación de energía solar contribuiría a reducir la dependencia de

combustibles fósiles y los costos operativos, mejorando la eficiencia técnica y ambiental de la ladrillera.

A continuación, en la Tabla 3, se presenta un análisis comparativo entre el sistema tradicional y la propuesta de mejora.

**Tabla 6**

*Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en el desmenuzado, homogeneización y moldeado del barro*

<b>Criterio</b>	<b>Sistema anterior (motor a gasolina 1200 HP)</b>	<b>Propuesta de mejora (sistema continuo automatizado con tornillo sinfín y embudo)</b>
Fuente de energía	Motor a gasolina de alto consumo.	Energía fotovoltaica continua mediante tornillo sinfín y mezcla optimizada.
Eficiencia operative	Procesos separados y discontinuos: desmenuzado, mezcla y moldeado.	Proceso unificado y continuo: desmenuzado, mezcla y moldeado integrados.
Costos de operación	Elevados: gasto en combustible y mantenimiento de motor de alta potencia.	Reducidos: baja dependencia de combustibles, menor desgaste de equipos.
Uniformidad del product	Irregular: mezcla no homogénea, presencia de terrones y defectos en el ladrillo.	Alta uniformidad: mezcla homogénea gracias al sistema de tornillo sinfín y mezclado mecánico.
Impacto ambiental	Emisión de gases contaminantes (CO <sub>2</sub> , CO, partículas).	Cero emisiones por eliminación de motor a combustión.
Seguridad laboral	Riesgo por manipulación de motor a combustión y exposición a gases.	Mayor seguridad: sistema cerrado y automatizado, sin riesgo por gases tóxicos.

Mantenimiento requerido	Alto: motor de gasolina requiere ajustes, lubricación y cambio de piezas.	Medio-bajo: engranajes y tornillo sinfín con mantenimiento mecánico sencillo.
Adaptabilidad	Limitada al rendimiento del motor y a lotes pequeños.	Alta: proceso escalable a mayor producción y adaptable a distintos volúmenes de barro.
Sostenibilidad	Baja: consumo intensivo de combustibles fósiles.	Alta: sistema mecánico-automatizado con reducción del consumo energético y mayor eficiencia.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

### **Secado a temperatura ambiente**

Actualmente, el secado se realiza de forma natural (imagen 1), durante un período de 20 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Este sistema genera cuellos de botella productivos debido a su variabilidad.

**Figura 4**

*Secado de ladrillo a temperatura ambiente*



*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

**Propuesta de mejora:** aprovechar el calor residual del proceso de cocción mediante un sistema de ductos que canalice aire caliente hacia la zona de secado, acelerando así el proceso de manera natural y eficiente. A continuación, en la tabla 4, se realiza un comparativo entre el sistema anterior y la propuesta de mejora implementada.

**Tabla 7**

*Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora implementada en el secado de ladrillos*

<b>Criterio</b>	<b>Sistema anterior (secado a temperatura ambiente)</b>	<b>Propuesta de mejora (aprovechamiento del calor residual de la cocción)</b>
Método de secado	Exposición al aire libre por 20 a 30 días, según el clima.	Conducción de aire caliente desde el horno hacia la zona de secado mediante ductos.
Duración del proceso	Muy variable: depende de la estación y humedad ambiental.	Reducción significativa: secado más rápido y constante.
Eficiencia productiva	Limitada: genera cuellos de botella y retrasa la cocción.	Alta: disminuye tiempos de espera, aumentando la rotación de producción.
Consumo energético	Cero (natural), pero con baja eficiencia.	Aprovechamiento de energía residual ya generada en la cocción.
Calidad del producto	Inconsistente: riesgo de grietas y deformaciones por secado desigual.	Mejorada: secado uniforme y más controlado.
Impacto ambiental	Nulo en sí mismo, pero dependiente de la cocción con combustibles contaminantes.	Aprovecha energía existente, sin necesidad de combustibles adicionales.
Seguridad laboral	Riesgo por manipulación manual y exposición prolongada al sol/lluvia.	Mayor seguridad: sistema canalizado y controlado.

Adaptabilidad	Limitada a condiciones ambientales.	Adaptable: funciona en cualquier temporada del año.
Sostenibilidad	Baja eficiencia frente a la demanda productiva.	Alta: sistema circular que reutiliza energía calorífica.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

### **Cocción del ladrillo**

La cocción se efectúa con la quema de madera, llantas y plásticos, lo cual genera altas emisiones de carbono negro y otros contaminantes. Esta práctica representa uno de los principales focos de impacto ambiental del proceso.

**Propuesta de mejora:** implementación de un horno tipo colmena más eficiente y controlado, alimentado preferentemente por biomasa forestal certificada. A largo plazo, se proyecta migrar hacia combustibles limpios como el gas natural. Además, el diseño del horno permitirá canalizar el calor excedente hacia la zona de secado. A continuación, en la tabla 5, se realiza un comparativo entre el sistema anterior y la propuesta de mejora implementada.

**Tabla 8**

*Comparación del sistema anterior y la propuesta de mejora en la cocción de ladrillos*

<b>Criterio</b>	<b>Sistema anterior (horno artesanal con llantas, plásticos y madera)</b>	<b>Propuesta de mejora (horno tipo colmena con biomasa certificada)</b>
Tipo de combustible	Madera sin control, llantas usadas y plásticos (altamente contaminantes).	Biomasa forestal certificada (dendroenergía) y transición futura a gas natural.
Control de temperatura	Muy limitado: riesgo de sobrecalentamiento y pérdida de material.	Mayor control térmico por diseño eficiente del horno tipo colmena.
Eficiencia energética	Baja: gran parte del calor se pierde en el ambiente.	Alta: mejor aprovechamiento del calor y conducción hacia el área de secado.
Emisiones contaminantes	Muy altas: carbono negro, CO <sub>2</sub> , partículas y compuestos tóxicos.	Reducidas: biomasa certificada y diseño eficiente disminuyen emisiones.
Calidad del producto	Inconsistente: variación de cocción produce ladrillos frágiles o agrietados.	Mayor uniformidad y resistencia en el producto final.
Seguridad laboral	Riesgo por manejo de llantas/plásticos y exposición a gases tóxicos.	Mejor seguridad: menor exposición a contaminantes y mejor ventilación.
Mantenimiento requerido	Alto: hornos rústicos requieren reparaciones frecuentes.	Medio: el horno tipo colmena es más durable y fácil de mantener.

Costos de operación	Relativamente bajos en el corto plazo, pero con alta huella ambiental.	Inicialmente mayores (inversión en horno), pero reducidos en el mediano plazo.
Sostenibilidad	Muy baja: uso de combustibles contaminantes y alto impacto ambiental.	Alta: uso de biomasa legal certificada y eficiencia energética.

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

### ***Evaluación de la infraestructura y el entorno***

Durante las visitas técnicas se identificaron deficiencias en el manejo de residuos sólidos y líquidos, evidenciadas mediante registros fotográficos, notas de campo y entrevistas realizadas a los trabajadores de la ladrillera. Las principales observaciones se describen a continuación:

#### **Aguas residuales estancadas.**

Se constató la presencia de charcos permanentes en las proximidades de la zona de moldeado y almacenamiento de ladrillos, lo que evidencia la ausencia de un sistema de drenaje eficiente. El diagnóstico permitió establecer que la acumulación de agua genera riesgos asociados a la proliferación de vectores, el deterioro de las condiciones sanitarias y la afectación de la seguridad y salud en el trabajo.

#### **Inexistencia de puntos de recolección de residuos sólidos.**

La ladrillera no dispone de canecas, bodegas ni áreas específicas destinadas a la clasificación y disposición de los residuos generados por los trabajadores, tales como plásticos, empaques y restos de alimentos. Esta situación fue confirmada tanto mediante observación directa como a través de entrevistas con los operarios, quienes señalaron la falta de lineamientos y prácticas establecidas para el manejo adecuado de los desechos.

Ausencia de sistemas de captación de aguas lluvias:

Se verificó que el agua empleada en los procesos de homogeneización y moldeado provenía directamente del acueducto comunitario, lo que implica el uso de agua potable sin la implementación de estrategias de aprovechamiento alternativo. Los registros fotográficos previos a la intervención muestran cubiertas sin infraestructura para la recolección de aguas lluvias, evidenciando una oportunidad clara de mejora en términos de eficiencia y sostenibilidad hídrica.

### **Figura 5**

*Antes de la implementación de las canaletas de aguas lluvias*



*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

### **Propuestas de mejora.**

#### **Construcción de un sistema de drenaje básico para aguas grises**

Anteriormente, las aguas residuales generadas por la limpieza de herramientas y el lavado de las áreas de trabajo permanecían estancadas en charcos a cielo abierto. Esta situación generaba riesgos de contaminación del suelo, proliferación de vectores y

afectaciones a la salud de los trabajadores, además de deteriorar las condiciones sanitarias del entorno productivo.

Como medida correctiva, se propuso la construcción de un sistema básico de drenaje compuesto por los siguientes elementos:

Canalización con pendiente controlada, mediante zanjas revestidas de bajo costo que permiten conducir las aguas hacia un punto de tratamiento o infiltración controlada, evitando su acumulación superficial.

Filtro de grava y arena, diseñado para facilitar la decantación y retención de sólidos antes de la disposición final del agua, reduciendo así la carga contaminante.

### **Implementación de canaletas para la recolección de aguas lluvias destinadas al proceso de homogeneización**

La captación de aguas lluvias constituye una estrategia sostenible orientada a disminuir la presión sobre el acueducto comunitario, del cual se obtiene actualmente el agua potable utilizada en el proceso productivo. La propuesta contempla:

Instalación de canaletas en las cubiertas de las estructuras de la ladrillera para recolectar el agua de precipitación (Figuras 4 y 5).

Conducción del agua hacia tanques de almacenamiento con capacidad aproximada entre 1.000 y 2.000 litros, garantizando una reserva constante para las etapas de homogeneización y moldeado.

**Incorporación de filtros de primera lluvia**, destinados a retener hojas, sedimentos y partículas sólidas, con el fin de mejorar la calidad del recurso hídrico almacenado.

Estas acciones promueven un uso más eficiente y responsable del agua, en coherencia con los principios de sostenibilidad ambiental y gestión integral del recurso hídrico, al tiempo que contribuyen a reducir costos operativos y el consumo de agua potable.

**Figura 6**

*Instalación sistema de canaletas*



*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

**Figura 7**

*Instalación canaletas para recolección de aguas lluvias.*



*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

### **Diseño e instalación de puntos ecológicos para la gestión interna de residuos sólidos**

La ausencia de infraestructura adecuada para la disposición de residuos sólidos constituye un problema de carácter sanitario y ambiental dentro de la ladrillera. Como medida

correctiva, se propone la instalación de puntos ecológicos diferenciados, con recipientes claramente identificados por colores, en concordancia con la normativa colombiana vigente (Resolución 2184 de 2019). La clasificación sugerida es la siguiente:

Verde: residuos aprovechables (plástico, cartón, metales).

Negro: residuos no aprovechables (papel contaminado, empaques sucios).

Blanco: residuos orgánicos (restos de alimentos).

De manera complementaria, se recomienda implementar un programa interno de educación ambiental orientado a capacitar a los trabajadores en separación en la fuente y disposición final adecuada. Asimismo, la gestión de los residuos aprovechables puede articularse con recicladores locales o asociaciones de aprovechamiento, fortaleciendo un modelo de economía circular y promoviendo la responsabilidad social de la unidad productiva.

### **Consumo energético y oportunidades de transición**

El consumo energético de la ladrillera se concentra principalmente en las etapas de traslado del barro, homogeneización y cocción del ladrillo. En la actualidad, estos procesos dependen del uso de motores a gasolina y de la quema de residuos contaminantes como fuente de combustión.

El diagnóstico técnico evidenció una baja eficiencia energética, altos costos operativos asociados al consumo de combustibles fósiles y un impacto ambiental significativo, derivado de las emisiones atmosféricas y del uso de materiales altamente contaminantes. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de transición energética que permitan mejorar el desempeño técnico del sistema productivo y reducir su huella ambiental.

**Tabla 9***Medidas propuestas*

<b>Proceso</b>	<b>Energía actual</b>	<b>Propuesta sostenible</b>
Traslado del barro	Motor de combustion	Sistema cinético de contrapeso
Homogeneización y moldeado	Motor a gasolina	Sistema automatizado con energía solar
Cocción del ladrillo	Leña, llantas, plásticos	Horno tipo colmena + biomasa/gas natural
Iluminación y maquinaria auxiliar	Ninguna sistematizada	Paneles solares fotovoltaicos

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

A continuación, se presenta el texto revisado con mejoras en coherencia estructural, precisión conceptual y redacción académica, fortaleciendo la articulación entre diagnóstico, marco normativo y hallazgos:

El diagnóstico integral permitió identificar de manera precisa las debilidades y necesidades técnicas de la ladrillera artesanal ubicada en La Cruz, Nariño. Las soluciones planteadas —basadas en la incorporación de energías renovables, la automatización parcial de procesos y la adopción de buenas prácticas de producción limpia— constituyen una alternativa viable y contextualizada para optimizar la productividad, reducir el impacto ambiental y promover un modelo energético más sostenible.

### **Evaluación del impacto ambiental y formulación de estrategias de mejora**

Con el fin de evaluar el impacto ambiental de las prácticas productivas actuales y proponer estrategias orientadas a la reducción del uso de combustibles fósiles, la

optimización del consumo de agua y la minimización de residuos, se desarrolló un diagnóstico ambiental detallado.

### **Diagnóstico del impacto ambiental actual**

El diagnóstico permitió establecer una línea base de los impactos generados por la actividad productiva en sus diferentes etapas. Para ello, se aplicaron herramientas metodológicas como listas de chequeo, observación directa, entrevistas semiestructuradas con los trabajadores y la Matriz de Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales (IAIA).

Estas herramientas se articularon con el marco normativo vigente —incluyendo la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y las Resoluciones 0627 de 2006 y 2254 de 2017— así como con guías minero-ambientales y literatura técnica especializada. Las listas de chequeo aplicadas en campo fueron diseñadas con base en la Guía Minero-Ambiental del Ministerio de Minas y Energía (Resolución 18-0861 de 2002) y en la NTC-ISO 14001:2015, con el propósito de identificar y evaluar los aspectos e impactos ambientales asociados a cada etapa del proceso productivo (Tabla 10).

A partir de este análisis, se identificaron los siguientes aspectos críticos:

Altas emisiones atmosféricas contaminantes durante la fase de cocción, derivadas del uso de llantas, plásticos y madera sin control técnico.

Manejo inadecuado de residuos sólidos, evidenciado en la acumulación de desechos sin separación en la fuente ni disposición técnica adecuada.

Estancamiento de aguas residuales en áreas de trabajo, debido a la ausencia de sistemas de drenaje y tratamiento.

Uso intensivo de agua en procesos como la homogeneización, sin estrategias de reutilización ni captación de aguas lluvias.

Estos factores evidencian una presión ambiental significativa sobre el entorno inmediato y generan riesgos tanto para la salud ocupacional como para la comunidad

circundante. En consecuencia, se hace necesaria la implementación de estrategias integrales que permitan mitigar dichos impactos y avanzar hacia un modelo de producción más eficiente y ambientalmente responsable.

**Tabla 10***Lista de chequeo ambiental aplicada en la ladrillera artesanal*

<b>Etapa del proceso</b>	<b>Aspectos evaluados</b>	<b>Impacto identificado</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Observaciones</b>
Extracción del barro	Alteración del suelo, erosión	Pérdida de capa fértil	Medio	Se sugiere extracción en terrazas controladas
Mezclado y moldeado	Emisión de gases por motor a gasolina	Contaminación atmosférica	Alto	Motor sustituido por uno más eficiente
Secado natural	Uso intensivo de espacio y exposición al clima	Baja eficiencia productiva	Medio	Se plantea canalizar calor residual del horno
Cocción	Uso de llantas y plásticos	Alta emisión de CO <sub>2</sub> y material particulado	Muy alto	Sustituido por madera de origen controlado
Gestión de residuos	Ausencia de puntos de recolección	Contaminación del suelo	Medio	Implementación de puntos ecológicos
Recurso hídrico	Uso de agua potable	Presión sobre acueducto local	Alto	Instalación de canaletas para aguas lluvias

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

Con el propósito de establecer la relación entre las causas de contaminación y sus efectos ambientales, se elaboró la siguiente matriz causa–efecto, que permitió priorizar las acciones de mitigación.

**Tabla 11**

*Matriz causa–efecto de impactos ambientales*

<b>Causa</b>	<b>Efecto directo</b>	<b>Efecto indirecto</b>	<b>Acción correctiva / preventiva</b>
Quema de plásticos y llantas	Emisión de CO <sub>2</sub> y material particulado	Contaminación del aire y riesgos a la salud	Sustitución por biomasa forestal certificada
Uso de agua potable	Agotamiento del recurso hídrico	Conflictos con la comunidad local	Implementación de captación de aguas lluvias
Manejo inadecuado de residuos	Acumulación y contaminación del suelo	Afectación paisajística y sanitaria	Creación de estación de separación y reciclaje
Ausencia de drenaje pluvial	Encharcamientos y erosión	Contaminación de fuentes hídricas	Construcción de drenaje y zanjas de filtración
Falta de arborización	Erosión y aumento de temperatura local	Pérdida de biodiversidad	Reforestación con especies nativas y dendroenergéticas

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

## **Análisis del ciclo de vida y evaluación del desempeño ambiental.**

### **Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).**

Se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) básico del proceso productivo, orientado a la identificación de los puntos críticos de mayor impacto ambiental. La aplicación del ACV se desarrolló conforme a los lineamientos establecidos en las normas ISO 14040 e ISO 14044, considerando las etapas de extracción de materia prima, producción, secado, cocción y disposición final de residuos.

### **Etapas evaluadas**

#### **Extracción y transporte del barro:**

Incluye el uso de herramientas manuales y el transporte mecánico del material. Los principales impactos asociados corresponden al consumo de energía, la alteración del suelo y procesos de erosión.

#### **Moldeado y secado:**

Se identificó el uso de un motor a gasolina para la mezcla y el moldeado, lo que genera emisiones atmosféricas y un consumo energético elevado. Asimismo, se evidenciaron pérdidas de eficiencia térmica durante la etapa de secado.

#### **Cocción:**

Constituye la fase de mayor impacto ambiental, al ser la principal fuente de emisiones atmosféricas y consumo de biomasa o combustibles alternativos. En esta etapa se concentran las mayores cargas energéticas del proceso productivo.

#### **Disposición de residuos:**

Comprende la generación de cenizas, restos de leña y residuos sólidos urbanos, cuya gestión inadecuada puede generar impactos sobre el suelo y el entorno inmediato.

A partir de la aplicación del ACV, se estimó que la sustitución del horno tradicional por un horno tipo colmena, junto con el cambio de combustible, permite reducir las emisiones

directas en un rango aproximado del 40 % al 50 %, tomando como referencia estudios de reconversión tecnológica realizados en ladrilleras artesanales de Cundinamarca y Boyacá (MADS, 2018; CCAC, 2020).

De igual manera, la implementación de un sistema de captación de aguas lluvias podría disminuir el consumo de agua potable en aproximadamente un 35 %, mientras que la instalación de puntos ecológicos para la separación en la fuente permitió reducir los residuos dispersos en un 60 %, según los registros de observación en campo y el análisis comparativo de evidencias fotográficas antes y después de la intervención.

**Tabla 12**

*Indicadores ambientales de seguimiento*

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Línea base (2023)</b>	<b>Situación posterior (2025)</b>	<b>Variación estimada</b>
Emisiones de CO <sub>2</sub> por cocción	kg CO <sub>2</sub> / ciclo	350	180	-49%
Consumo de agua potable	L / mes	1.500	975	-35%
Residuos sólidos sin aprovechamiento	kg / mes	250	100	-60%
Aguas lluvias aprovechadas	% sobre total consumo	0	30	+30%
Reforestación ejecutada	Nº de árboles plantados	0	50	+50

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

Este análisis permitió diseñar intervenciones focalizadas en las etapas más contaminantes, priorizando acciones preventivas y correctivas en la fase de cocción y el uso del recurso hídrico.

### **Implementación de herramientas normativas y de gestión ambiental**

*Se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) básico del proceso productivo, orientado a la identificación de los puntos críticos de mayor impacto ambiental. La aplicación del ACV se desarrolló conforme a los lineamientos establecidos en las normas ISO 14040 e ISO 14044, considerando las etapas de extracción de materia prima, producción, secado, cocción y disposición final de residuos.*

#### *Etapas evaluadas*

##### *Extracción y transporte del barro:*

*Incluye el uso de herramientas manuales y el transporte mecánico del material. Los principales impactos asociados corresponden al consumo de energía, la alteración del suelo y procesos de erosión.*

##### *Moldeado y secado:*

*Se identificó el uso de un motor a gasolina para la mezcla y el moldeado, lo que genera emisiones atmosféricas y un consumo energético elevado. Asimismo, se evidenciaron pérdidas de eficiencia térmica durante la etapa de secado.*

##### *Cocción:*

*Constituye la fase de mayor impacto ambiental, al ser la principal fuente de emisiones*

*atmosféricas y consumo de biomasa o combustibles alternativos. En esta etapa se concentran las mayores cargas energéticas del proceso productivo.*

*Disposición de residuos:*

*Comprende la generación de cenizas, restos de leña y residuos sólidos urbanos, cuya gestión inadecuada puede generar impactos sobre el suelo y el entorno inmediato.*

*A partir de la aplicación del ACV, se estimó que la sustitución del horno tradicional por un horno tipo colmena, junto con el cambio de combustible, permite reducir las emisiones directas en un rango aproximado del 40 % al 50 %, tomando como referencia estudios de reconversión tecnológica realizados en ladrilleras artesanales de Cundinamarca y Boyacá (MADS, 2018; CCAC, 2020).*

*De igual manera, la implementación de un sistema de captación de aguas lluvias podría disminuir el consumo de agua potable en aproximadamente un 35 %, mientras que la instalación de puntos ecológicos para la separación en la fuente permitió reducir los residuos dispersos en un 60 %, según los registros de observación en campo y el análisis comparativo de evidencias fotográficas antes y después de la intervención.*

**Tabla 13***Impacto esperado*

<b>Indicador</b>	<b>Situación inicial</b>	<b>Proyección con estrategias</b>
Uso de combustibles contaminantes	Alta dependencia de llantas/plástico	Sustitución por biomasa o gas
Emisiones de gases y material particulado	Altas emisiones visibles	Reducción >50% con horno colmena
Consumo de agua potable	Sin control, sin reutilización	Reutilización de aguas lluvias
Generación de residuos sin control	Residuos mezclados, sin destino	Separación en fuente, reciclaje
Conciencia ambiental del personal	Baja	Alta participación en talleres

*Fuente.* Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2025).

La evaluación ambiental integral del proceso productivo permitió identificar impactos negativos significativos, especialmente en las etapas de cocción, manejo del agua y residuos. La implementación de medidas correctivas como el uso de biomasa, tecnologías de eficiencia energética, gestión de aguas lluvias y educación ambiental, ofrecen una ruta viable para avanzar hacia un modelo de producción más limpio, resiliente y coherente con los principios del desarrollo sostenible rural.

Diseñar e implementar acciones sostenibles orientadas a la sustitución de fuentes energéticas contaminantes, incluyendo la automatización parcial de procesos, el uso de biomasa forestal y la construcción de infraestructura más eficiente.

### **Sustitución de fuentes energéticas contaminantes**

En el proceso de cocción de los ladrillos, la práctica inicial consistía en la combustión de llantas y plásticos, materiales que generan altas emisiones de carbono negro, dioxinas y furanos, constituyéndose en un foco de contaminación atmosférica y de riesgo sanitario. Como acción correctiva, se implementaron cambios en el tipo de combustible, sustituyendo estos residuos altamente contaminantes por madera legalmente adquirida de pino y cedro, lo que representa un avance hacia un proceso menos contaminante.

De manera complementaria, se están gestionando acciones de dendroenergía, a través de la siembra de árboles en un área destinada a la reforestación dentro de la ladrillera. Este enfoque busca garantizar un suministro futuro y sostenible de biomasa forestal, bajo un esquema de aprovechamiento responsable y renovable. La combinación de estas medidas permite no solo disminuir el impacto ambiental del proceso productivo, sino también asegurar la autonomía energética de la ladrillera en el mediano plazo.

### ***Automatización parcial de procesos***

Uno de los cuellos de botella identificados en el diagnóstico fue el uso de un motor a gasolina de alto consumo (1200 HP) para la homogeneización y moldeado de la materia prima (imagen 2). A partir de esta necesidad, se diseñó un sistema de mecanización parcial que unifica las etapas de desmenuzado, mezcla y moldeado en un flujo continuo.

**Figura 8**

*Motor a gasolina de alto consumo (1200 HP)*



*Fuente. Elaboración propia, trabajo de campo (2025).*

**Figura 9**

*Motor utilizado en la etapa de homogeneización.*



*Fuente. Elaboración propia, trabajo de campo (2025).*

La propuesta contempla la implementación de:

Un contenedor tipo embudo con tornillo sinfín, que permite la dosificación y transporte de la arcilla.

Un sistema mecánico de mezcla, optimizando la uniformidad de la pasta

Un módulo de moldeado compacto, diseñado para reducir pérdidas de material y mejorar la resistencia del ladrillo final.

Este rediseño del proceso apunta a reducir tiempos de producción, mejorar la eficiencia energética y disminuir la dependencia de motores de alto consumo. La inversión inicial en este sistema se respalda con la proyección de un aumento en la producción mensual (de 6.000 a 7.000 ladrillos en promedio), lo que refuerza la viabilidad económica de la mejora.

### **Construcción de infraestructura más eficiente**

En materia de infraestructura, uno de los hitos más significativos ha sido la construcción del horno tipo colmena (imagen 4), el cual reemplaza los sistemas tradicionales de cocción que no permitían un control adecuado de la temperatura.

Este nuevo horno ofrece múltiples beneficios:

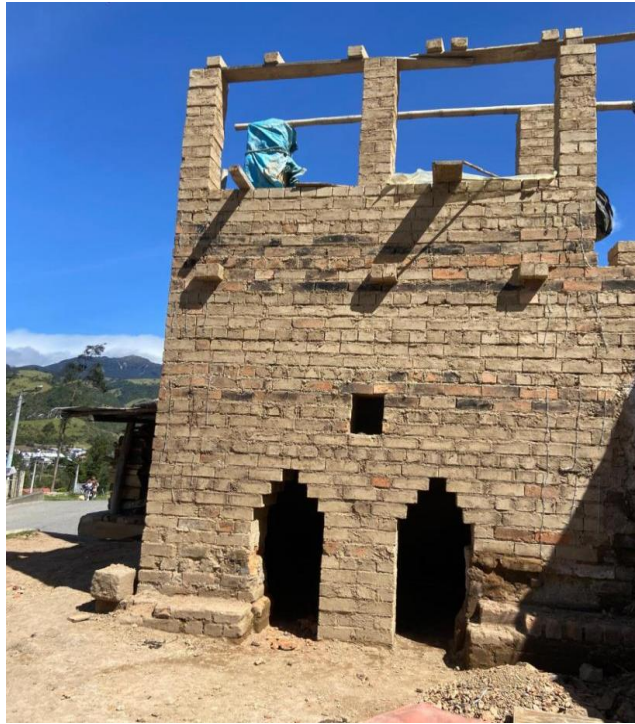
Mayor control de la combustión, optimizando la distribución del calor.

Reducción del consumo de combustible gracias a un mejor aprovechamiento energético.

Posibilidad de canalizar el calor residual hacia la zona de secado, cerrando un ciclo de eficiencia dentro del proceso productivo

### **Figura 10**

*Horno tipo colmena*



*Fuente:* Elaboración propia, trabajo de campo (2025).

Adicionalmente, se han implementado mejoras complementarias en la infraestructura, entre ellas:

Instalación de canaletas para la captación de aguas lluvias, utilizadas en la etapa de homogeneización.

Construcción de terrazas para la extracción de barro, evitando erosión y garantizando un mejor acceso a la arcilla alofánica, de mayor calidad que la utilizada en ladrilleras de otras zonas.

Adecuación de un sistema de drenaje básico, que evita el estancamiento de aguas residuales y mejora las condiciones sanitarias del entorno.

### ***Acciones transversales de sostenibilidad***

Además de los avances tecnológicos e infraestructurales, se han llevado a cabo acciones de educación ambiental y gestión interna, entre las que destacan:

Capacitaciones al personal en el uso racional del agua, separación en la fuente y disposición adecuada de residuos sólidos.

Instalación de puntos ecológicos diferenciados, de acuerdo con la normativa colombiana (Resolución 2184 de 2019).

Promoción del uso de agua lluvia en reemplazo del agua potable del acueducto comunitario, disminuyendo la presión sobre este recurso.

Estas medidas garantizan que las transformaciones técnicas estén acompañadas de cambios culturales y organizacionales, fundamentales para la sostenibilidad a largo plazo.

### **Cronograma de implementación (propuesto)**

Aunque varias acciones ya se han ejecutado, otras se encuentran en fase de gestión. Para dar continuidad al proceso, se presenta el cronograma de implementación con un horizonte de 12 meses:

**Tabla 14**

*Cronograma de implementación de acciones sostenibles en la ladrillera artesanal de La Cruz – Nariño*

<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Estado actual</b>	<b>Periodo de ejecución (2025)</b>	<b>Observaciones</b>
1	Sustitución del motor de gasolina por uno más eficiente	Ejecutado	Enero – Febrero 2025	Inversión aproximada de \$3.000.000 COP.
2	Construcción del horno tipo colmena	Ejecutado	Marzo – Abril 2025	Mejora la eficiencia térmica y reduce emisiones contaminantes.
3	Instalación de estación de separación y clasificación de residuos sólidos	Ejecutado	Mayo 2025	Incluyó puntos ecológicos y señalización interna.
4	Implementación de canaletas para la recolección de aguas lluvias	En proceso	Junio – Julio 2025	Se destinará al proceso de homogenización de la arcilla.
5	Programa de capacitación en uso responsable de recursos hídricos y gestión de residuos sólidos	Ejecutado	Julio – Agosto 2025	Se redujo la dependencia de agua potable del acueducto comunitario.
6	Reforestación con especies maderables de rápido crecimiento (dendroenergía)	Planeado	Septiembre – Octubre 2025	Se gestionan árboles de pino y cedro para futura

				autosuficiencia energética.
7	Optimización del sistema de secado de ladrillos mediante aprovechamiento de calor residual del horno	Planeado	Noviembre – Diciembre 2025	Permitirá reducir tiempos de secado de 20–30 días a menos de 15.
8	Adecuación de terrazas para la extracción controlada de arcilla alofánica	Ejecutado	Todo el primer semestre 2025	Mejora la sostenibilidad de la extracción y la calidad del barro utilizado.
9	Propuesta de automatización parcial en el proceso de desmenuzado, homogeneización y moldeado	Planeado	Segundo semestre 2025	Sistema continuo con tornillo sinfín para mejorar eficiencia y uniformidad de mezcla.

*Fuente.* Elaboración propia, trabajo de campo (2025).

### **Evaluación de las acciones sostenibles implementadas**

Se materializaron diversas transformaciones técnicas y ambientales orientadas a optimizar el proceso productivo y reducir los impactos asociados al uso de fuentes energéticas contaminantes. Entre las principales acciones implementadas se destacan la construcción de un horno tipo colmena, la sustitución del motor de gasolina por un sistema más eficiente, la instalación de canaletas para la captación de aguas lluvias, la creación de una estación para la separación de residuos sólidos y el desarrollo de jornadas de capacitación en educación ambiental dirigidas a los trabajadores.

Estas mejoras se enmarcan en los principios de eficiencia energética, uso racional de los recursos naturales y economía circular, contribuyendo al fortalecimiento de la sostenibilidad técnica, social y ambiental de la ladrillera artesanal.

Con el propósito de evaluar el impacto de las acciones ejecutadas, se diseñaron indicadores comparativos entre las condiciones iniciales registradas en 2023 y la situación actual correspondiente a 2025. La información fue recopilada mediante entrevistas semiestructuradas, observación directa en campo y registros de producción, lo que permitió analizar de manera objetiva los avances alcanzados en términos de eficiencia operativa y desempeño ambiental.

**Tabla 15**

*Indicadores de productividad antes y después de la intervención.*

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Situación inicial</b>	<b>Situación posterior</b>	<b>Variación estimada</b>
Producción mensual promedio	Nº de ladrillos	6.000	7.000	+16,6%
Consumo energético	L de gasolina / mes	45	0	-100%
Tipo de fuente energética	—	Gasolina y residuos (llantas)	Biomasa forestal	Sustitución completa
Tiempo promedio de cocción	Horas / lote	72	48	-33%
Temperatura media de cocción	°C	650	850	+30% (mayor eficiencia térmica)
Emisiones visibles (humo negro)	Observación visual	Alta	Baja	Reducción significativa
Aprovechamiento del agua lluvia	% sobre consumo total	0	30	+30%

*Fuente.* Elaboración propia con base en registros de campo y entrevistas a trabajadores (2025).

El proyecto no solo generó beneficios en el ámbito técnico, sino que también contribuyó al mejoramiento de las condiciones laborales y a la transformación de la percepción de los trabajadores frente a su entorno de trabajo.

Con el fin de evaluar estos cambios, se realizó una entrevista abierta a los cinco operarios permanentes de la ladrillera. A partir de sus testimonios, se identificaron percepciones positivas relacionadas con la seguridad, la organización del espacio, la reducción de riesgos y la mejora en las condiciones ambientales del lugar.

Los principales resultados se sintetizan en la siguiente tabla.

**Tabla 16**

*Percepción de los trabajadores frente a las mejoras implementadas*

<b>Aspecto evaluado</b>	<b>Situación antes de la intervención</b>	<b>Situación posterior (2025)</b>	<b>Valoración general</b>
Condiciones de seguridad laboral	Exposición a calor extremo, ruido y humo	Mayor control térmico y uso de protección básica	Mejóro notablemente
Capacitación ambiental	Inexistente	Participación en jornadas sobre residuos y agua	Aumentó la conciencia ambiental
Participación en decisiones	Escasa	Se promueve la comunicación y participación	Mayor inclusión
Satisfacción laboral	Media	Media–alta	Incremento percibido

Reconocimiento comunitario	Limitado	Mayor visibilidad por prácticas sostenibles	Mejor imagen social
-------------------------------	----------	--	------------------------

*Fuente.* Elaboración propia con base en registros de campo y entrevistas a trabajadores (2025).

La percepción positiva del personal evidencia avances significativos en términos de bienestar laboral y apropiación de la cultura ambiental dentro del proceso productivo. Asimismo, la participación de los operarios en actividades de reforestación y en el mantenimiento del sistema de canaletas fortaleció el sentido de pertenencia y la corresponsabilidad frente a la gestión ambiental de la ladrillera.

El conjunto de acciones implementadas ha generado impactos sostenibles en las dimensiones técnica, ambiental y social, los cuales pueden sintetizarse de la siguiente manera:

**Impacto técnico:** Modernización de equipos, mejora en la eficiencia térmica del proceso de cocción y reducción de los tiempos de producción.

**Impacto ambiental:** Disminución estimada de emisiones atmosféricas entre un 40 % y 50 %, reducción del consumo de agua potable en aproximadamente un 35 % y fortalecimiento del aprovechamiento y la gestión adecuada de residuos sólidos.

**Impacto social:** Mejoramiento de las condiciones laborales, fortalecimiento del trabajo en equipo y posicionamiento de la ladrillera como referente local en la implementación de buenas prácticas ambientales.

En términos generales, la unidad productiva ha avanzado hacia un modelo de producción más limpia y autosostenible, en el que las prácticas operativas se articulan con la

gestión ambiental, logrando un equilibrio entre productividad, sostenibilidad y bienestar humano.

Con el fin de evaluar de manera sistemática los avances obtenidos tras la implementación de las acciones sostenibles en la ladrillera artesanal del corregimiento La Estancia, se diseñó una matriz de indicadores de seguimiento orientada a medir resultados en las dimensiones técnica, ambiental y social. Este instrumento busca garantizar la continuidad de las mejoras introducidas, facilitar la toma de decisiones y promover una gestión integral basada en principios de sostenibilidad.

Los indicadores fueron definidos a partir de la información recopilada durante el diagnóstico inicial, los resultados del proceso de intervención y las observaciones realizadas en campo. Cada uno cuenta con su respectiva línea base, situación actual y meta proyectada, lo que permite evaluar el nivel de cumplimiento y los impactos alcanzados en el corto y mediano plazo.

Adicionalmente, la matriz incorpora medios de verificación y responsables de seguimiento, contribuyendo a institucionalizar procesos de control interno y a fortalecer la mejora continua dentro del sistema productivo. De esta manera, la ladrillera puede mantener un monitoreo permanente de sus prácticas, asegurando la eficiencia energética, la protección ambiental y el bienestar de los trabajadores (Tabla 17).

**Tabla 17** *Matriz de indicadores de seguimiento de sostenibilidad en la ladrillera artesanal*

<b>Dimensi ón</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Línea base (2023)</b>	<b>Situació n actual (2025)</b>	<b>Meta espera da (2026)</b>	<b>Medio de verific ación</b>	<b>Responsa ble de seguimien to</b>
-----------------------	------------------	---------------------------------	----------------------------------	---	--	---	---

Técnica	Producción mensual de ladrillos	Nº de ladrillos producidos	6.000	7.000	7.500	Registros de producción	Administrador de planta
Técnica	Tiempo de cocción por lote	Horas promedio	72	48	45	Observación directa / bitácora	Jefe de operación
Técnica	Consumo de combustible fósil	Litros/mes	45	0	0	Registros de compra de combustible	Contador de producción
Ambiental	Uso de agua potable	% respecto al total consumido	100%	70%	50%	Registro de consumo / factura acueducto	Responsable ambiental
Ambiental	Captación de aguas lluvias	m³/año	0	12	20	Sistema de canaletas y tanques de almacenamiento	Responsable ambiental

Ambient al	Emisiones visibles de humo	Nivel cualitativo	Alto	Bajo	Bajo	Observaci ón visual / registro fotográfic o	E nc ar ga do de ho rn os
Ambient al	Residuos sólidos separados en origen	% de residuos reciclables	0%	60%	80%	Registro de recolecció n / punto ecológico	Coordinad or ambiental
Social	Capacitaci ones ambientale s realizadas	Nº de jornadas/a ño	0	2	4	Listas de asistencia / informes de capacitaci ón	Coordinad or ambiental
Social	Participaci ón de trabajador es en	% de personal vinculado	20%	80%	100%	Actas de reuniones / entrevistas	Administr ador de planta

acciones de mejora							
Social	Nivel de satisfacción laboral	Valoración cualitativa	Media	Media– Alta	Alta	Encuesta de percepción	Área administrativa

*Fuente.* Elaboración propia con base en registros de campo y entrevistas a trabajadores (2025).

La matriz diseñada permite realizar un seguimiento sistemático del desempeño sostenible de la ladrillera, facilitando la evaluación continua de los avances alcanzados en los ámbitos técnico, ambiental y social. Los indicadores establecidos evidencian progresos significativos en la eficiencia operativa, la gestión ambiental y el fortalecimiento organizacional.

En el componente técnico, la sustitución del motor y la modernización del horno han permitido optimizar los tiempos de producción y eliminar el uso de gasolina como fuente energética, lo que se traduce en una mayor eficiencia y en la reducción de los costos operativos.

En el componente ambiental, la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias, la adecuada separación de residuos y la disminución visible de emisiones atmosféricas representan avances concretos hacia un modelo de producción más limpia y sostenible.

En el componente social, el fortalecimiento de los procesos de capacitación y la participación del personal evidencian una apropiación progresiva del proyecto, así como una mejora en la cultura organizacional y en la adopción de prácticas de trabajo seguro y responsable.

## Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió comprender de manera integral el funcionamiento operativo, energético y ambiental de la ladrillera artesanal ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz (Nariño).

El diagnóstico técnico-operativo inicial fue determinante para establecer la línea base de la unidad productiva, ya que permitió identificar las principales limitaciones estructurales del proceso tradicional. Se evidenció una alta dependencia de combustibles fósiles y residuos contaminantes, baja eficiencia energética de los equipos y ausencia de sistemas adecuados para el manejo de residuos sólidos y el aprovechamiento del recurso hídrico. Esta línea base se construyó con rigor metodológico mediante la aplicación de herramientas de campo, tales como entrevistas semiestructuradas, listas de chequeo y levantamientos planimétricos, lo que garantizó una identificación precisa de los puntos críticos de mejora en cada etapa del proceso productivo.

El análisis ambiental, apoyado en la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), permitió evaluar los impactos generados en las distintas fases de producción, desde la extracción del barro hasta la cocción final del ladrillo. Se determinó que las emisiones asociadas al uso de llantas y plásticos como combustibles, el consumo excesivo de agua potable y la inexistencia de una gestión adecuada de residuos sólidos constituían los principales factores de deterioro ambiental. Frente a esta situación, la implementación de estrategias sostenibles —como la captación de aguas lluvias, la reutilización de subproductos, el uso de biomasa forestal legalmente adquirida y la creación de puntos ecológicos— se consolidó como una alternativa viable para mitigar impactos y fortalecer prácticas de producción limpia dentro del sistema artesanal.

La transición tecnológica y operativa representó un avance significativo hacia la sostenibilidad del proceso. La construcción de un horno tipo colmena y la modernización de

los equipos de mezclado no solo optimizaron la eficiencia productiva y el uso de los recursos, sino que también mejoraron de manera sustancial las condiciones de salud y seguridad ocupacional de los operarios. Estas mejoras se complementaron con la instalación de sistemas de drenaje y canaletas pluviales, así como con jornadas de capacitación y sensibilización ambiental orientadas a promover una cultura organizacional basada en la responsabilidad ecológica y la eficiencia técnica.

En síntesis, el proyecto demuestra que la integración de criterios ambientales, técnicos y sociales en un sistema productivo artesanal puede generar resultados medibles en términos de sostenibilidad, productividad y bienestar comunitario. La ladrillera tradicional de La Cruz se proyecta como un referente local de transición hacia prácticas más limpias y responsables, evidenciando que es posible equilibrar la preservación ambiental con la viabilidad económica y social de la actividad productiva

## Recomendaciones

El desarrollo de este proyecto permitió identificar y analizar de manera sistemática las principales falencias en los procesos operativos, energéticos y ambientales de la ladrillera artesanal ubicada en el corregimiento La Estancia, municipio de La Cruz (Nariño), al tiempo que se formularon e implementaron acciones orientadas a la sostenibilidad y a la optimización productiva.

El diagnóstico constituyó un insumo fundamental para comprender la dinámica actual de la actividad ladrillera, evidenciando la dependencia de combustibles fósiles y materiales altamente contaminantes —como llantas y plásticos—, la ausencia de un manejo adecuado de aguas residuales y lluvias, así como deficiencias en infraestructura y condiciones laborales.

Los resultados obtenidos demuestran que, pese a tratarse de una unidad productiva artesanal de carácter tradicional, es posible introducir mejoras técnicas y ambientales significativas con recursos limitados y bajo un enfoque de gestión sostenible. La sustitución del motor obsoleto por uno más eficiente, la construcción de un horno tipo colmena, la instalación de un punto de separación de residuos sólidos y la implementación de un sistema de canaletas para la recolección de aguas lluvias constituyen evidencias concretas de que la transición hacia procesos más responsables con el entorno es viable y genera beneficios inmediatos en términos de productividad, reducción de emisiones y mejoramiento de las condiciones laborales.

A partir del análisis realizado y de las acciones ejecutadas, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a consolidar la viabilidad de la ladrillera en el mediano y largo plazo, garantizando que su actividad productiva responda no solo a criterios de eficiencia económica, sino también a lineamientos ambientales y sociales.

En primer lugar, se recomienda fortalecer la estrategia de gestión integral del recurso hídrico. Aunque se avanzó en la recolección de aguas lluvias mediante canaletas, es necesario

implementar sistemas de almacenamiento con mayor capacidad y mecanismos básicos de filtración que permitan su utilización segura y continua en los procesos de homogeneización y moldeado. De esta manera, se reducirá la presión sobre el acueducto comunitario y se optimizará la disponibilidad de agua potable para la población.

En segundo lugar, resulta prioritario consolidar un programa de reforestación con fines dendroenergéticos. La siembra y manejo técnico de especies como pino y cedro, adquiridas y gestionadas conforme a la normatividad vigente, garantizará a futuro un suministro estable y sostenible de biomasa. Esto reducirá la dependencia de combustibles fósiles y de madera sin trazabilidad legal, además de constituir una medida de compensación ambiental que contribuya a la recuperación de la cobertura boscosa, la mitigación de la erosión del suelo y la regulación hídrica del territorio.

Asimismo, se recomienda avanzar en la automatización parcial de los procesos productivos, especialmente mediante la integración del desmenuzado, la homogeneización y el moldeado del barro en un sistema continuo y eficiente. Esta medida no solo incrementará la capacidad productiva —actualmente estimada entre 6.000 y 7.000 ladrillos mensuales—, sino que también disminuirá el esfuerzo físico de los trabajadores y mejorará la homogeneidad y competitividad del producto frente a otras ladrilleras de la región.

Otra recomendación clave consiste en optimizar el manejo de residuos sólidos y líquidos. Para ello, es necesario consolidar la operación de puntos ecológicos dentro de la ladrillera, promover el aprovechamiento de materiales reciclables y diseñar un sistema adecuado de drenaje para las aguas residuales. Estas acciones permitirán prevenir focos de contaminación, reducir riesgos sanitarios y avanzar en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En relación con el componente social, se recomienda dar continuidad y ampliar los procesos de capacitación dirigidos a los trabajadores en temas de seguridad y salud en el

trabajo, uso eficiente de los recursos naturales y disposición adecuada de residuos. Estas acciones formativas fortalecen la cultura organizacional, promueven la conciencia ambiental y favorecen la apropiación de las mejoras implementadas, asegurando su sostenibilidad en el tiempo.

Finalmente, se considera fundamental establecer un sistema periódico de monitoreo y evaluación de los impactos ambientales y productivos. Mediante registros sistemáticos del consumo energético, uso de agua, generación de residuos y emisiones atmosféricas, será posible evidenciar avances hacia la sostenibilidad, identificar desviaciones oportunamente y formular estrategias de mejora continua.

En conclusión, la experiencia desarrollada demuestra que la producción artesanal de ladrillos puede evolucionar hacia un modelo más sostenible, competitivo y ambientalmente responsable. La incorporación de tecnologías limpias, la optimización de procesos, el aprovechamiento de energías renovables y la formalización de la actividad productiva constituyen pilares esenciales para que la ladrillera no solo garantice su permanencia en el tiempo, sino que se consolide como un referente regional de transición hacia una producción más limpia, eficiente y socialmente comprometida.

### Referencias bibliográficas

- Azpiazu, G. (2008). *Evaluación de las cargas energéticas y ambientales de la fábrica de ladrillo macizo de arcilla cocida, mediante la aplicación del análisis de ciclo de vida (ACV)* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Dialnet.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=191044>
- Buitrago, E. (2014). *Fábrica de ladrillos ecológicos del Meta* [Proyecto].  
<https://file:///C:/Users/PC%20COMPAQ/Downloads/Proyecto-fabrica-de-ladrillosecologicos.pdf>
- Cabo, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción* [Trabajo de grado, Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf?sequence=1>
- Cárdenas, D. (2017). *Producción artesanal de ladrillos y su impacto ambiental en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia].
- Congreso de Colombia. (1974). *Decreto 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*.  
[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto\\_2811\\_1974.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html)
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables*.  
<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
- Congreso de Colombia. (2002). *Ley 769 de 2002: Código Nacional de Tránsito Terrestre*.  
[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito\\_3704\\_0.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito_3704_0.pdf)

- Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Diario Oficial No. 49.150.  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23903117/1715.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2018). *Diagnóstico ambiental de la actividad ladrillera en el Valle del Cauca*.
- González, M., & Pardo, A. (2021). Diagnóstico del sector ladrillero artesanal en Colombia y sus retos ambientales. *Revista Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 18 (2), 45–60.
- Gutiérrez, M., & Rodríguez, J. (2015). Gestión ambiental y sostenibilidad en microempresas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 49(2), 133–148.
- Herrera, A. (2014). *Estudio ambiental y social del ciclo de vida de la producción de ladrillos artesanales, utilizando combustibles tradicionales y alternativos* [Tesina de grado, Universidad Nacional de Cuyo].  
[https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/6110/herrera-analia-tesinairnr.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/6110/herrera-analia-tesinairnr.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). *Informe nacional del estado del recurso hídrico en Colombia 2018–2019*.  
[https://www.ideam.gov.co/documents/21021/57126370/Informe\\_Nacional\\_Agua\\_2018\\_2019.pdf](https://www.ideam.gov.co/documents/21021/57126370/Informe_Nacional_Agua_2018_2019.pdf)
- International Energy Agency. (2021). *Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026*.  
<https://www.iea.org/reports/renewables-2021>
- López, M., Curadelli, S., Piastrellini, R., Arena, P., & Civit, B. (2019). *Estudio socioambiental de la producción de ladrillos artesanales en Mendoza desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida* [Informe técnico, Universidad Tecnológica Nacional]. <https://ria.utn.edu.ar/server/api/core/bitstreams/778c4b24-dc47-4d0d-bc96-6659115536e7/content>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Guía técnica para la reducción de emisiones en ladrilleras artesanales*. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Política nacional de producción y consumo sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 0627 de 2006: Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión de ruido ambiental*. <https://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2006resolucion627.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Resolución 6918 de 2010: Por la cual se establece la metodología de medición y se fijan los niveles de ruido al interior de las edificaciones (inmisión) generados por la incidencia de fuentes fijas de ruido*. <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCION%206918%20DE%202010.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO-6: América Latina y el Caribe*. <https://www.unep.org>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>